

フィールドサイエンス

Journal of Field Science

No.8 2010



東京農工大学農学部附属広域都市圏
フィールドサイエンス教育研究センター

平成22年 3月

フィールドサイエンス 第8号

目次

原著

- 1 セラミックピッチャーを利用した地中灌漑方式によるハウストマト栽培に関する基礎的研究—セラミックピッチャー内の圧力が土壌の水分とトマトの成長に与える影響—／張 継寧・斉藤広隆・松村昭治・小澤博幸・松川孝治・加藤 誠
- 9 スギ、ヒノキへのクマ剥ぎ発生の要因／松本弥生・金子 稔・木下浩幸・渡辺直明・亀山 章・古林賢恒

研究資料

- 17 不耕起・無代掻き水田における水稲病害虫の自然制御に関する研究／本林 隆
- 85 FM多摩丘陵の1 ha 固定調査区における毎木調査および植生調査資料／長谷川奈美・星野義延・渡辺直明・原 宏

原 著

セラミックピッチャーを利用した地中灌漑方式による
ハウストマト栽培に関する基礎的研究
—セラミックピッチャー内の圧力が土壌の水分と
トマトの成長に与える影響—

張 継寧^{*1}・斉藤 広隆^{*1}・松村 昭治^{*2}・小澤 博幸^{*2}・松川 孝治^{*2}・加藤 誠^{*3}

Study on Subsurface Irrigation using Ceramic Pitcher for
Tomato Cultivation in Greenhouse

—Effect of Water Pressure inside Ceramic Pitcher on Soil Moisture and Tomato Growth—

Jining ZHANG^{*1}, Hirotaka SAITO^{*1}, Shoji MATSUMURA^{*2},
Hiroyuki OZAWA^{*2}, Kohgi MASTUKAWA^{*2} and Makoto KATO^{*1}

In this research work, soil moisture movement and tomato growth about subsurface irrigation by utilizing ceramic pitcher applied to Kanto loam soil under different pressure values was investigated in the greenhouse of FS Center, TUAT. Decreasing the water pressure, both the cumulative volume and the velocity of water supply decrease. For the same water pressure, the cumulative volume of water supply increases with time in the period of tomato growth; the velocity of water supply increases with time in the earlier stage and decreases with time in the later stage because ceramic pitcher's hydraulic conductivity became lower due to rootlet. The yield of tomato, tomato's plant height and stem diameter decrease, whereas water use efficiency increases as the water pressure decreases. Consequently, negative pressure irrigation can save water and improve water use efficiency on the subsurface irrigation using ceramic pitcher for tomato cultivation in the greenhouse.

Key words : Ceramic pitcher, Subsurface irrigation, Tomato

本研究は、東京農工大学の農学部FSセンターのビニールハウス内に、セラミックピッチャーを鉢に埋設した地中灌漑方式によりトマトを栽培し、節水効果について検討した。セラミックピッチャー内の給水圧が低下するに従って、トマト栽培中の積算給水量は減少し、給水速度も減少した。同じ給水圧の場合、トマト栽培前期に給水速度は次第に増加し、トマト栽培後期に細根のため、セラミックピッチャーの透水係数が低くなり、給水速度は減少していった。セラミックピッチャー内の給水圧が低下するに従って、トマトの草丈、主茎の太さ、トマトの収穫量は減少していったが、水利用率が高くなっていくことが分かった。セラミックピッチャーを利用した負圧灌漑技術の方が節水でき、トマトの水利用率を改善できることを明らかにした。

キーワード：セラミックピッチャー、地中灌漑、トマト

^{*1} 東京農工大学大学院連合農学研究科 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 : United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, Fuchu-shi, Tokyo 183-8509, Japan

^{*2} 東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 : Field Science Center, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, Fuchu-shi, Tokyo 183-8509, Japan

^{*3} Corresponding Author : mkato@cc.tuat.ac.jp

1. はじめに

地球の陸地面積の1/3以上は乾燥・半乾燥地域である。しかし、この地域では水資源が乏しいためこの地域の発展が制限されてきた。乾燥・半乾燥地域における農業では、限られた水資源を有効に利用することで、更なる食糧増産が期待される。乾燥地域農業では節水灌漑が地域発展の不可欠な条件となる。節水灌漑では、土壌面蒸発量と下方浸透量を減らし、作物の水利用効率を高めることが重要である。先進国で開発された節水灌漑の一つである地中灌漑 (Subsurface irrigation) とは、地中に埋設した灌水管から水を浸潤させ、根群域に灌漑する方法である。このような節水灌漑技術を実施するには設置、維持管理、修理に多くの費用と技術を必要とするので、乾燥地・半乾燥地の貧しい地域では、広く普及されていない (Abu-Zreig *et al.*, 2006)。

一方、古典的な地表面に埋設したセラミックピッチャーを用いる灌漑技術 (Ceramic pitcher irrigation) は効率的で、小規模農家に理想的な灌漑システムの最古のものの一つである。また作物の収穫量の向上が期待されること、操作が容易であること、起伏の多い地域に適していること等の利点があるので、インド、パキスタン、イラン、中国、アフリカ、南米などの多くの地域で実施されてきている。しかし、この古典的なセラミックピッチャー灌漑技術では、降下浸透、土壌面蒸発などに欠点が多くあるので、水利用効率の低いことが懸念されている。

本研究では、地中灌漑の欠点とされてきた初期費用、複雑な技術修得・修理維持、降下浸透などを抑えるために、基礎的な研究ではあるが、途上国の農村に多く存在する棟瓦、火火瓦を焼く技術焼成するので、小規模農家で入手できるセラミックピッチャーを使用した地中灌漑方法によって、トマトを栽培することを試みてみた。

2. 実験材料及び方法

2.1 実験材料

2.1.1 土壌特性

本実験の供試土壌には、2 mm フルイを通過させた風乾関東ロームを、乾燥状態で堆肥と混合した (関東ロームの質量：堆肥の質量=100：6) ものをを用いた。供試土壌の飽和透水係数、乾燥密度、飽和体積含水率、その他の土壌の基本的な物理特性を表1に示した。

2.1.2 セラミックピッチャーの性質

本研究に用いたセラミックピッチャーを図1に、その特性を表2に示した。セラミックピッチャーの飽和透水係数は変水頭法で測定した (Abu-Zreig and Atoum, 2004)。

2.1.3 供試作物

タキイ桃太郎 T93である。

2.2 実験装置

実験装置は図2に示す通りであり、トマト栽培には高さ55 cm、上直径48 cm、下直径37 cm のプラスチック製の円筒形のポリ容器を使用した。土層厚は50 cm として、その下層に排水を促すために、厚

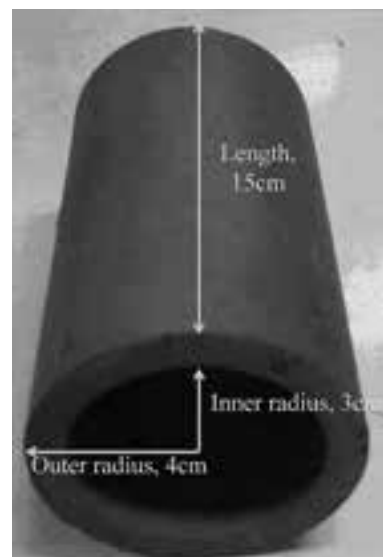


Fig. 1 Diagram of ceramic pitcher.

Table 1 Physical properties of experimental soil.

Clay (0 ~ 5 μm, %)	Silt (5 ~ 74 μm, %)	Sand (74 ~ 840 μm, %)	Soil particle (g cm ⁻³)	Dry density (g cm ⁻³)	Saturated volumetric water content (cm ³ cm ⁻³)	Saturated hydraulic conductivity (cm s ⁻¹)
15	59	26	2.58	0.70	0.68	1.6 × 10 ⁻²

Table 2 Basic properties of ceramic pitcher.

Surface Area (cm ²)	Length (cm)	Outer radius (cm)	Inner radius (cm)	Thickness (cm)	Hollow volume (cm ³)	Saturated hydraulic conductivity (cm s ⁻¹)
400.0	15.0	4.0	3.0	1.0	425.0	1.50×10^{-7}

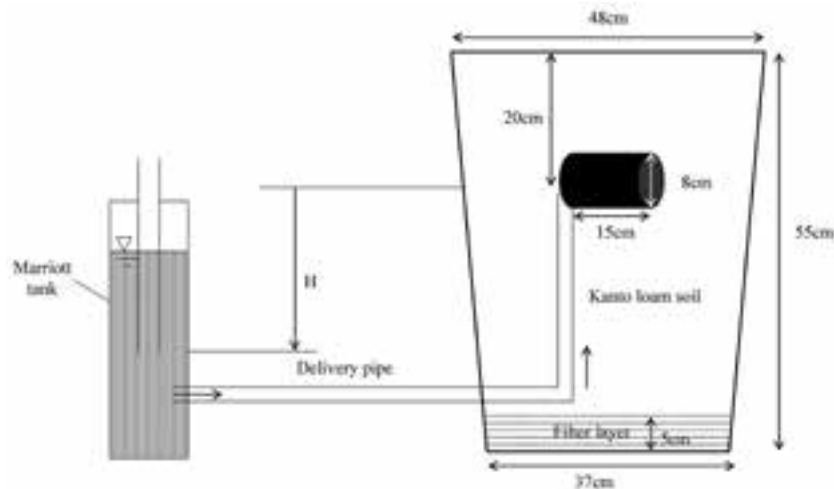


Fig. 2 Schematic diagram of the experiment's apparatus.

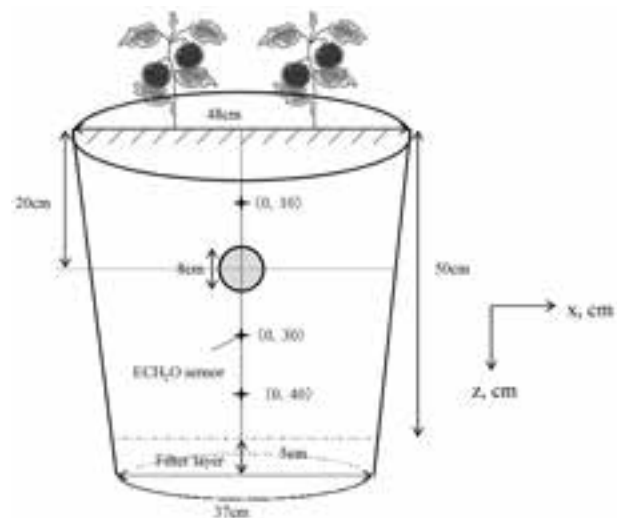
さ 5 cm のフィルター層を設けた。

容器内の土壌には ECH₂O 水分センサー (DECA-GON Devices, Inc., アメリカ製) を 5 本挿入した。図 3 に示すように、挿入点 (x, z) は $(0, 10)$, $(0, 30)$, $(0, 40)$, $(10, 20)$ と $(15, 20)$ である。 x = 横座標 (cm); z = 下向きの縦座標 (cm) である。

脱気して空隙を水で満たした円筒形のセラミックピッチャーを地表面から 20 cm の深さに固定した。また、セラミックピッチャーには、これとマリョットタンクとが導水ホースを介して接続され、一定の水圧を与えた。本研究では、給水圧は 4 つ、それぞれ 10 cm, 0 cm, -30 cm, -50 cmH₂O とした。セラミックピッチャーの水圧はその中心を基準面とした。実験開始時に気泡が入らないように注意しながら、全てのパイプ内とセラミックピッチャー内とに水を満たした。また、容量 10 L のポリタンクをマリョットタンクとして使用した。

2.3 実験方法

東京農工大学農学部キャンパスのフィールドサイエンス教育研究センター (FS センター) のハウス内で栽培実験を行った。実験期間は 2007 年 5 月 12 日から 8 月 10 日までの 91 日間であった。栽培概要は、5 月 12 日にビニールハウス内の鉢に定植した。土壌表面を発泡スチロールで被覆し、土壌面からの蒸発

Fig. 3 Detailed schematic diagram of the ECH₂O monitoring points.

を抑制した。トマトは 5 果房まで栽培とした。供試株数は 1 鉢 2 株とした。

3. 結果と考察

ハウス内の温度が高く、給水圧 10 cmH₂O のマリョットタンクは膨張したか、または土層中のセラミックピッチャーの内部に空気が入った可能性があって、給水圧 10 cmH₂O の正しい積算給水量のデータを得ることができなかった。そこで、給水圧

0 cm, -30 cm, -50 cmH₂O の場合のトマト栽培の結果を考察の対象とした。

3.1 積算給水量 (Q, Liter)

マリOTTタンクの質量を測定して、毎日の供給水量を得た。実験期間の積算給水量 (Q, Liter) と経過時間曲線を図4に示した。積算給水量 Q は時間の経過に従って増加していたことが分かる。

また、図4を見ると、セラミックピッチャー内の給水圧が低いものほど、積算給水量が少なくなった。実験終了まで、給水圧 0 cm, -30 cm, -50 cmH₂O のトマトへの積算給水量はそれぞれ Q₀ (47.0 Liter) > Q₋₃₀ (33.0 Liter) > Q₋₅₀ (29.0 Liter) であった。給水圧 0 cmH₂O の積算給水量が最多であり、給水圧 -50 cmH₂O の積算給水量が最小であった。

3.2 給水速度 (V, Liter day⁻¹)

実験期間の給水速度時間変化曲線を図5に示した。この変化曲線は二つの部分に分けられる。前半部分では、5月12日の栽培開始日から徐々に増加し、6月17日に給水速度がピーク値に達した。この時の給水圧 0 cm, -30 cm, -50 cmH₂O の給水速度はそれぞれ 0.65, 0.51, 0.45 liter day⁻¹ であった。後半部分では、6月17日から最後の収穫まで、給水速度は徐々に減少した。実験終了時の給水速度はそれぞれ 0.52, 0.36, 0.32 liter day⁻¹ となった。以下に、給水速度が減少した原因を考察する。トマトは5段栽培としたので、6月17日までに全てのトマトについて摘心を行った。摘心の目的は収穫有効果実の早期肥大と着色促進、無駄な茎葉繁茂の防止のためである。また、トマトの生長・発育によって、トマトの根群域が広くなり、細根がセラミックピッチャーに巻き付く (図6) ために、セラ

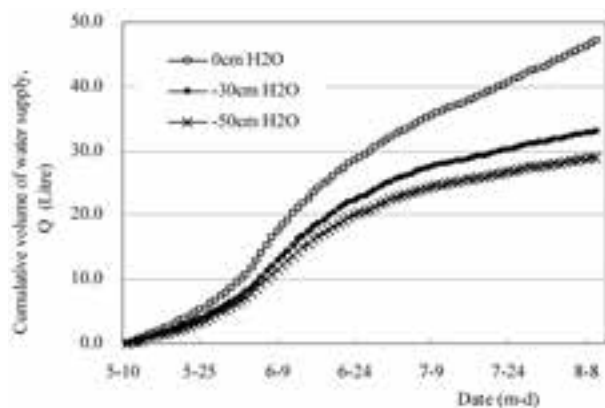


Fig. 4 Effect of time on the cumulative volume of water supply (Q) during irrigation.

ミックピッチャーの透水係数が減少し、作物生長及び給水能力が低下するなどが見られた (谷川・矢部, 1996)。

また、給水圧 0 cm, -30 cm, -50 cmH₂O における給水速度のそれぞれのデータと比較すると、給水圧 0 cmH₂O の給水速度が最大で、給水圧 -50 cmH₂O のものが最小となった。すなわち、セラミックピッチャー内の給水圧が低くなると、その給水速度は小さくなるといえた。

3.3 土壌水分分布

ECH₂O 水分センサーにより測定した 10, 30, 40 cm の深さの土壌体積含水率の経日変化を図7-a, 図7-b, 図7-cに示した。各深さとも、セラミックピッチャーの給水圧が低いほど、土壌体積含水率はより小さな値で減少しつつ推移した。

また、埋設の深さが異なっても、この体積含水率の変化曲線は三つの段階に分けられる。第一段階、最初5月12日栽培日から5月28日まで、土壌体積含

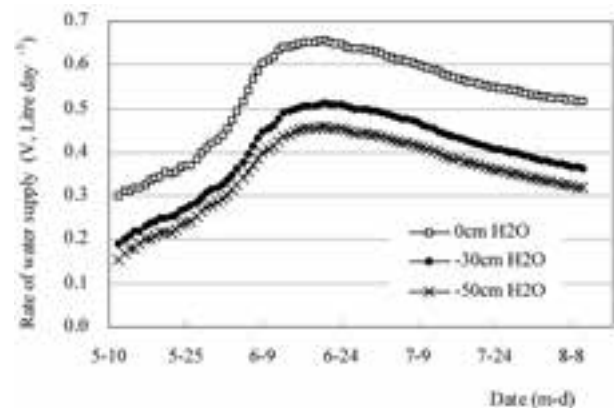


Fig. 5 Effect of time on the water supply velocity (V) during irrigation.



Fig. 6 Photograph of rootlet covered with the ceramic pitcher.

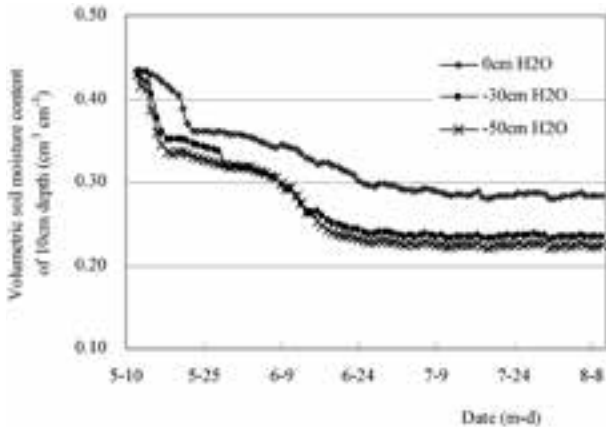


Fig. 7-a Variations in volumetric soil moisture content at 10 cm depth of different water pressures.

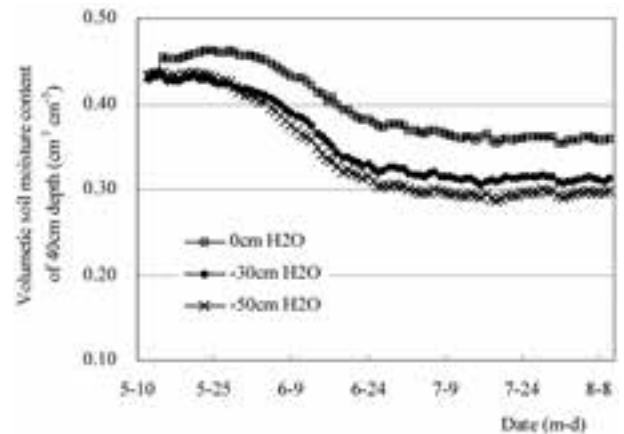


Fig. 7-c Variations in volumetric soil moisture content at 40 cm depth of different water pressures.

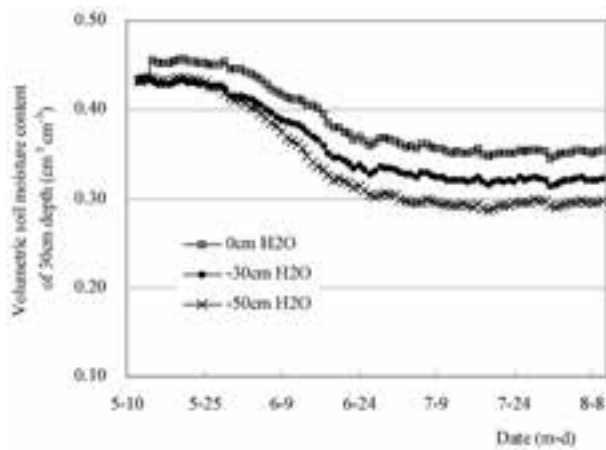


Fig. 7-b Variations in volumetric soil moisture content at 30 cm depth of different water pressures.

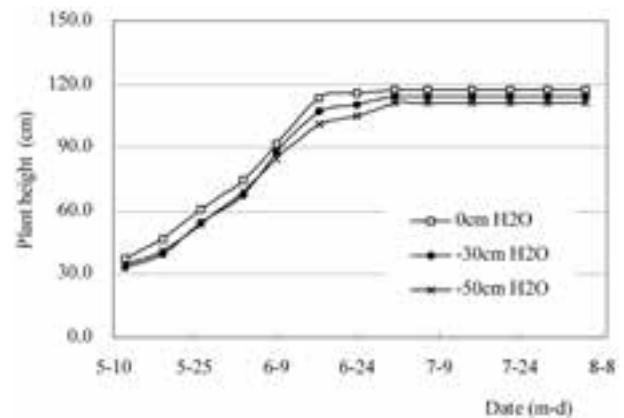


Fig. 8-a Plant height of tomato.

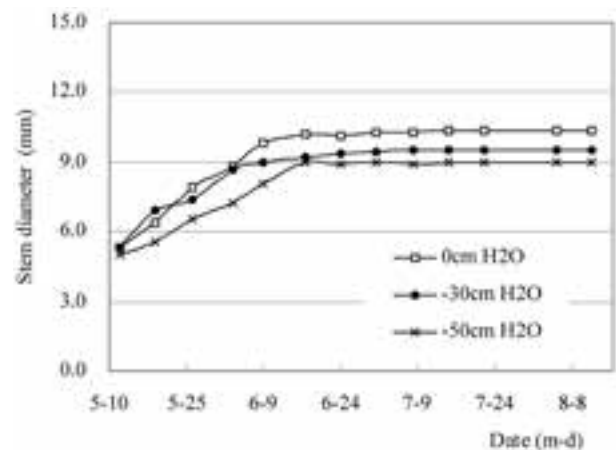


Fig. 8-b Stem diameter of tomato.

水率の変化は小さかったことがわかる。第二段階、5月28日から6月17日の摘心まで、明らかに土壤体積含水率が減少したことが分かる。この段階に、トマト株の生長・発育及び根の伸長・根群域の拡大が著しくなると推測される。第三段階、6月17日から、トマトは栄養生長から、生殖生長に変わり、実験の最後まで、土壤体積含水率の変化は安定していたことが分かる。ほか、セラミックピッチャーの透水係数を減少していたため、最初の設定した土壤体積含水率はほぼ $0.40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (長澤ら, 2007)であったが、実験の最後に10, 30, 40 cmの深さの土壤体積含水率は全て $0.30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ に近づいたと想像される。

3.4 トマトの草丈 (cm) 及び主茎の太さ (mm)

実験において、トマト1本仕立てとし、主枝のえき芽は早めに手で取り除いた。6月17日までに、全て摘心した。トマトの生長とともに、株の草丈を

メートル尺、主茎の太さをノギスで測定した。トマト株の草丈および主茎の太さの平均値と経日変化を図8-aと図8-bに示した。

株の草丈、主茎の太さの変化曲線とも、2つの部分に分けられる。全ての摘心が終了する6月17日前には、トマト株が生長しているため、株の草丈、主茎の太さも大きくなった。6月17日以後には、栄

養生長が終わり、生殖生長状態に入ったため、トマトの草丈と主茎の太さがあまり変化しなかったことが分かる。

セラミックピッチャー内の給水圧が異なると、トマトの草丈及び主茎の太さは異なった。給水圧 0 cmH₂O のトマトの株の草丈が一番高く、主茎の太さは一番大きかった。給水圧 -50 cmH₂O のトマト草丈が一番低く、主茎の太さは一番小さかったことが分かる。つまり、セラミックピッチャー内の給水圧の低下に従って、トマトの草丈が低くなり、主茎が細くなったことが分かる。

3.5 トマトの収穫量 (kg)

本実験においては、栽培後期にセラミックピッチャーの透水係数が根毛の巻きつきにより、小さくなったためと推定され、ビニールハウス内の温度が例年よりも高温となってしまった。これにより、5果房まで栽培の準備をしていたが、実際には4果房目及び5果房の落花・落果を誘発してしまった。そのため、収穫量はトマト株の3果房までのものを考察の対象とした。

図9はポット毎の収穫完熟トマトの収穫量の合計を示した。給水圧 0 cmH₂O の収穫量は一番多く、-50 cmH₂O の収穫量は一番少なかったことが分かる。即ち、セラミックピッチャー内の給水圧の低下に従って、収穫量は減少することが分かった。

本実験において、ハウスは高温であったので、トマト株の生長速度は遅く、生長量は小さかった。一方、給水圧が低くなると、トマト株の草丈、主茎の太さ、収穫量に与える影響が見られた。測定できなかったが、トマトの根に関して以下のように考える。トマトの根系の生長は周囲の土壤環境に適合す

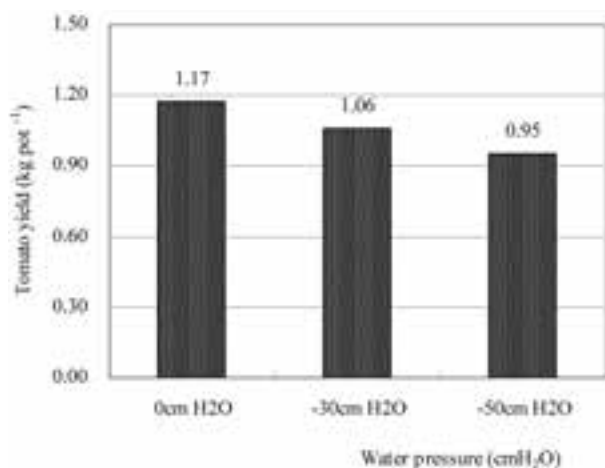


Fig. 9 Yield of tomato of different water pressures in the pot.

る機能を持つことである。すなわち、トマトの根系の数量・分布、根の活力などが土壤環境に適合するように変化する。本研究のポット栽培には、給水圧が異なるため、セラミックピッチャーから浸透した水量が異なる。多湿の土壤環境を好むトマトに対しては、低い給水圧 -50 cmH₂O の場合、セラミックピッチャーからの水浸透量が少ないため、土壤湿度が低く、その中のトマトの根系の数量が少なく、根群域の分布が狭く、根の吸水能力が弱かったと推定された。一方、高い給水圧 0 cmH₂O の場合、土壤湿度がより高いため、トマトの根系が吸水しやすく、根系の活力がより大きかったと推定される。そのため、給水圧 0 cmH₂O のトマト株の草丈、主茎の太さともに大きく、収穫量も多かったと考える。以上の結果により、節水トマトを作るために、細かい水分制御が必要といえよう。

3.6 トマトの水利用効率 (kg m⁻³)

本研究においては、ポット実験における、トマトの収穫量を総供給水量で除した値を水利用効率 (Water use efficiency: WUE) と定義することとした。

$$WUE = \frac{Y}{Q}$$

ここで、WUE: 水利用効率 (kg m⁻³)、Y: トマトの収穫量 (kg)、Q: 総供給水量 (m³) である。この定義による各設定水圧の水利用効率を図10に示した。給水圧が -50 cmH₂O の時の水利用効率は比較的に高くなった。

トマト栽培には、灌水量が多すぎると裂果を引き起こし、少ないと障害果が発生するため、高品質な果実を作るためには灌水量の細かい制御を必要とする作物である。灌水量を減らすことで高糖度な果実を生産することができるが、収穫量は減少する。乾

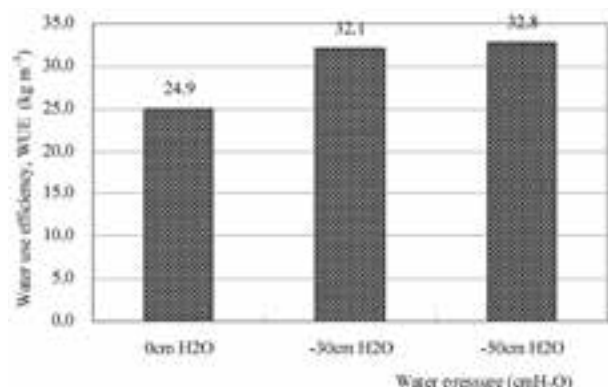


Fig. 10 Water use efficiency of different water pressures.

乾燥地・半乾燥地の水の不足する地域を対象とした農業水利開発を行う場合、水資源を節約しながら食糧生産を維持するという見地から、灌漑の必要性、水資源の確保、灌漑方法と水利用効率を改善することが我々の研究の目的である。本研究のセラミックピッチャーを用いた地中灌漑における、給水圧 $-50\text{ cmH}_2\text{O}$ の方が収穫量が少なくても、水利用効率が良かったといえる。

4. 結論

本研究では、東京農工大学農学部FSセンターのビニールハウス内に、トマトを供試作物として、セラミックピッチャーを鉢に埋設した地中灌漑方式における積算給水量、供給速度、土壌の水分分布、トマトの生長及び水利用効率について把握、考察した。

セラミックピッチャー内の給水圧が低くなると、その積算給水量は少なくなり、給水速度も小さくなった。同一の給水圧では、栽培前期には給水速度が次第に大きくなったが、栽培後期には細根がセラミックピッチャーに巻きつくために、セラミックピッチャーの透水係数が小さくなり、給水速度も小さくなったと考える。また、セラミックピッチャー内の給水圧が低くなると、トマト株の草丈、主茎の太さとも小さくなり、収穫量も少なくなるが、水利用効率は高くなった。このことから、セラミックピッチャーを利用した負圧灌漑技術では、栽培期間中の灌水操作は殆ど必要がない、自動的に連続的に灌水することができる。さらに、負圧灌漑の方が節水が可能である。

引用文献

Abu-Zreig, M. M. and Attom, M. (2004) Hydraulic characteristics and seepage modeling of clay pitchers produced in Jordan. *Can. Biosys. Eng.* 15: 15-20.

Abu-Zreig, M. M., Abe, Y. and Isoda, H. (2006) The auto-regulative capability of pitcher irrigation system. *Agricultural Water Management* 85: 272-278.

Bainbridge, D. A. (1988) Pitcher irrigation. *Drylander* 2 (1): 3.

Bainbridge, D. A. (2001) Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. *Agricultural Water Management* 48: 79-88.

長澤和彰・加藤 誠・西村 拓・松村昭治・小澤博幸・高橋和代 (2007) TDR センサーを用いた土壌水分変化の計測—本学FSセンタートマト畑の土壌水分変化—. *フィールドサイエンス* 6: 1-6.

伊藤裕朗・河合伸二 (1994) トマト及び実トマトの土壌水分管理と果実品質. *愛知農総試研報* 26: 191-199.

岩間憲治・金木亮一・谷川寅彦・矢部勝彦 (2006) 多孔質管地中灌漑の実用性向上について—低正圧間断灌漑の実用性と負圧連続灌漑による根巻き防止効果—. *農業土木論文集* 245: 19-23.

加藤善二・手島三二 (1982) 負圧灌漑の原理と基礎的検討. *農業土木学会誌* 101: 46-54.

北村義信 (1993) 乾燥地における灌漑農業と塩害対策. *農業土木学会誌* 61(1): 37-40.

Mondal, R. C. (1974) A technique of water conservation in Farming with a pitcher. *World crops* 262: 91-94.

矢部勝彦・谷川寅彦 (1992) 栽培条件下における多孔質管形状の検討—地下灌漑に関する実験的研究 (Ⅷ) —. *農業土木論文集* 162: 43-48.

矢部勝彦・谷川寅彦 (1996) 地中灌漑における給水能力低下防止対策とその効果—低正圧地中連続灌漑に関する実験的研究 (Ⅴ) —. *農業土木論文集* 184: 81-89.

原著

スギ, ヒノキへのクマ剥ぎ発生要因

松本 弥生^{*1}・金子 稔^{*2}・木下 浩幸^{*2}・渡辺 直明^{*2}・亀山 章^{*1}
古林 賢恒^{*1}

Factors affecting on the Occurrence of Bear Damage to
Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*)

Yayoi MATSUMOTO^{*1}, Minoru KANEKO^{*2}, Hiroyuki KINOSHITA^{*2}, Naoaki WATANABE^{*2},
Akira KAMEYAMA^{*1} and Kengo FURUBAYASHI^{*1}

Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) were examined the season variation of sugar content and the amount of liquid around cambium, to consider factors affecting on the occurrence of bear damage in FM Kusaki. Sugar content at outer bark, inner bark and liquid around cambium and xylem was analyzed by HPLC. The results show that both sugar content and the amount of liquid around cambium varied seasonally. At occurrence time of bear damage, sugar content is low but the amount of liquid around cambium is abounding.

The matured artificial plantations of Sugi and Hinoki have high density of the tree that a bear can tear off the bark. Therefore, in the time when sap flows abundantly, the bear can use liquid around cambium and xylem as food efficiently.

Key words : FM Kusaki, Bear damage, Sugi・Hinoki artificial plantation, Sugar content, the Amount of liquid around cambium

クマ剥ぎ発生要因を検討するために、群馬県北東部にある FM 草木内のスギおよびヒノキの壮齢林において糖含有量と形成層周辺を流動する液体の量の季節変動を2006年5月から2007年4月まで調査した。糖含有量の分析は外樹皮、内樹皮、形成層周辺部の樹液、形成層周辺の木部について行った。その結果、糖含有量、形成層周辺部の樹液量とも季節変動を示し、クマ剥ぎ発生時期の5～6月は糖含有量が低いもの、形成層周辺部の樹液量が豊富であることが明らかになった。

スギ・ヒノキの人工壮齢林は、クマ剥ぎの対象となるスギ・ヒノキが集中分布することから、樹液が豊富で剥皮し易いときには効率よく餌として利用できることがわかった。

キーワード：FM 草木、クマ剥ぎ、スギ・ヒノキ壮齢林、糖含有量、形成層周辺部の液量

1. はじめに

ツキノワグマ (*Ursus thibetanus japonicus*) による樹皮剥ぎ (以下クマ剥ぎ) は、ツキノワグマが生息する地域では一般的に発生しており、時期は植物がその年の成長を始める5月から7月頃に集中する。

スギ、ヒノキ、カラマツ、モミ、ツガなど主に針葉樹が対象となりやすい。また、同林分の中では胸高直径の大きい優勢木が被害を受けやすい (Furubayashi *et al.* 1975, 久武 1999, 大土井 2004 など)。

クマ剥ぎの被害にあった樹木は、外樹皮と内樹皮

^{*1} 東京農工大学農学部 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 : Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan.

^{*2} 東京農工大学農学部 FS センター 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 : Field Science Center, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan.



写真1. 東京農工大学FM草木で観察されたスギに残されたクマ剥ぎの痕跡 (2005年6月撮影)

(通称, 甘皮と呼ばれる) が剥ぎ取られ (写真1), 木部に下顎でこそげたような二条の筋状の傷跡が残る (写真2)。この現象はアメリカクロクマ (*U. americanus*) においてもごく一般的に認められる (Poelker 1973)。木部に残された歯形の上端は180 cm 以下がほとんどであるが (久武 1999), スギやヒノキの場合には枝がある高さまで剥皮されていることが多い。

樹皮剥ぎが生じると樹皮が剥がされた箇所から腐朽菌が侵入し, 時間の経過とともに腐朽し (山田ら 1992), 材としての価値が著しく低下する。元玉材と呼ばれる最も材としての価値の高い部分は腐朽菌が侵入すると角材としては使えない状態となる。また, 剥皮は斜面の場合には必ず山側に認められ, 経年的に被害を受け, 平坦な場合には環状に剥皮されて立木は枯死に至ることが多い。クマ剥ぎは天然林でも見られるが, とくに日本各地のスギ, ヒノキ, カラマツ, ウラジロモミの人工林でよく見られる。被害が目立つのは保育手間のかからなくなった壮齢林であり, 深刻な林業被害をもたらしている。

これまでクマ剥ぎの対策として, 田中式捕獲檻 (鳥居春己 1989) をはじめとした檻でツキノワグマを捕獲し, 射殺するといった有害駆除が行われてきた。しかし, 駆除を継続しても被害の減少に至っ



写真2. 木部に残った下顎でこそげたような二条の筋のある痕跡 (2005年6月撮影)

ていないという報告もある (岐阜県根尾村 1999)。

ツキノワグマは直接観察することが極めて難しいことからその生態は不明な部分が多い。保護管理に必須であるメタ個体群の構造が不明, 個体数を調整する方法も確立されたものがないといった状況下で捕殺主導の管理が続けられているために, 個体数の減少に加えてツキノワグマ個体群の地域的な孤立を招き, MVP (最小生存可能個体数) の保証ができなくなることが危惧される。

有害駆除の他にもツキノワグマが忌避する薬剤を樹幹に塗布する方法や, ビニールテープやシートを樹幹に巻きつけて物理的にツキノワグマが樹皮を剥がせないようにする被害防除 (丸山ら 2002) が行われており, 一時的な効果をあげている。しかし, 維持管理のための経費がかかり, ビニールテープやシート等の資材が林内でゴミとなり環境を悪化させるなどの問題も考えられる。

1964年の田中式捕獲檻の開発と蜂蜜を餌として誘引する方法が開発されてからは, ツキノワグマの捕獲効率が急激に上昇した。林業被害の規模が広範囲に及ぶにもかかわらず, クマ剥ぎのメカニズムそのものに関する研究は遅々として進んでいない大きな理由のひとつに問題解決に対する有害駆除への高い依存度を挙げることができる。

ツキノワグマは生息地要求性が高いことからアンブレラ種として地域の自然の生物の多様性 (Bio-diversity) を保全する際の指標となっている (鷲谷・矢原 1996)。近年, GPS の装置をクマに装着した研究から, 森林植物の種子散布という重要な役割を果たしていることが明らかになりつつあり (小池 2008), 駆除のみの対策に頼るのではなく, クマと

の共存のためには樹皮剥ぎ被害の発生要因を明らかにし、その上で対策を検討する必要がある。

クマ剥ぎが行われる理由については、剥皮が縄張りのマーキングであるという説（高橋 1960）、スギには α -pinen が樹皮中に多く含まれているためツキノワグマがこれに誘引されるという説（吉村ら 1980, 吉村・福井 1982）の他、食物資源として利用しているという説（吉田ら 2002, 宇田川 1961）などがある。現在、有力視されているのは餌資源として利用しているという説である。餌資源説は、木部に下顎でこそげたような痕跡が残ること（Poelker 1973, 大土井 2004）や、ツキノワグマの糞内より木部片が発見されること（渡辺 1974）、他の餌資源が乏しい年にツキノワグマの針葉樹の摂食量が増加すること（吉田ら 2002）を根拠に、ツキノワグマは針葉樹の形成層周辺部を餌資源として採食しているとしている説である。

本研究では餌資源説の仮説を検証するために、近年になってクマ剥ぎの発生頻度・規模が増加しつつある足尾山地において、スギとヒノキの形成層周辺部をツキノワグマの餌資源として着目し、その糖含有量と、形成層周辺部を流動する液量について、季節変動を明らかにし、クマ剥ぎが発生する要因を検討した。

2. 試料と方法

2.1 調査地概要

糖含有量測定のためのサンプルの採取、ならびに形成層周辺部を流動する樹液の液量（以下、形成層周辺部の樹液と呼ぶ）の調査は、群馬県東北部に位置する東京農工大学附属 FS センターフィールドミュージアム草木（以下 FM 草木）で行った。FM



図 1. 調査地である FM 草木の場所

草木では近年クマ剥ぎの被害が多発している。調査中も多くの林分でクマ剥ぎの痕跡を確認した。

サンプルの採取は同演習林内の 5 林班り小班で行った。この小班は標高 950 m に位置し、50 年生のスギ、ヒノキ林である。同林分内でもスギ、ヒノキともクマ剥ぎが発生していた。

2.2 糖含有量

2.2.1 サンプル個体の選出

サンプルは同林分内で採取した。剥皮が樹木に与える影響による糖含有量の変化が考えられるため、試料木はクマ剥ぎ無被害木とした。

試料木を選定する際、劣勢木は優勢木に比べて形成層細胞の分裂停止が早い時期におけると考え、隣接した樹木による被圧を受けている劣勢木は避けた。また、樹齢 40 年から 50 年のスギ人工林において、胸高直径 18 cm 以上の個体はクマ剥ぎの被害に遭いやすい（久武 1999）という知見にもとづいて、胸高直径約 18 cm 以上の個体を選出した。林例が高いこともあって、結果的に供試した個体の平均胸高直径は 23.9 ± 2.7 cm であった。

2006 年 4 月から 2007 年 3 月まで毎月、スギとヒノキ各 3 個体から、外樹皮、内樹皮、および形成層周辺部の樹液、および形成層周辺の木部を採取した（写真 3）。採取位置は高さ 0.5 m から 2 m とした。サンプルは冷凍保存しながら研究室に持ち帰り、その後もマイナス 28 度のフリーザーで保存し



写真 3. スギ樹皮から木部にかけての試料採取の状況

た。

2.2.2 分析方法

採取した外樹皮、内樹皮、および形成層周辺の木部については、絶乾させて重量を測定後、80%エタノールで60分間煮沸し、抽出したものを蒸留水により定量した後、高速液体クロマトグラフィーを用いて乾燥重量あたりの糖含有量を測定した。

形成層周辺部の液体サンプルは不純物を濾過し、高速液体クロマトグラフィー（島津製作所 LC-6A）を用いて、1 mlあたりの糖含有量を測定した。ただし、形成層周辺部の液量を分析が可能な量だけ採取できたのは、5月19日、6月1日、6月16日、6月30日、7月26日のサンプリング時に限られた。

2.3 形成層周辺部における液量の季節変動

スギやヒノキの樹皮剥ぎに密接に関わる形成層付近の樹液の量は春から初夏に多く、それ以外の時期では短時間でかつ樹液の質を大きく変化させないように材をこそいで絞り出すことは困難であることが予備実験から分かっていた。そのため、少ない樹液量の時期も測定可能なように、短時間に一定面積から少量の水分を捕捉することで液量変化を測定することにした。

濾紙（アドバンテック社 No. 2）を1 cm×5 cmに切り、先端を1 cm×1 cmに折り曲げて接着面とした。濾紙を絶乾させ、乾燥重量を測定した後、デシケーター内にいれ、調査地まで運び、外樹皮と内樹皮をはがした直後のスギとヒノキの木部表

面に濾紙を1分間密着させ、形成層周辺部の樹液を濾紙に直接しみこませた。樹液をしみこませた濾紙はすみやかに密封し実験室に持ち帰り、その重量を測定した。

木部への押し付けを行わず、調査木のそばで空气中に1分間さらしたものをブランクとした。ブランクの増加量は林内の大気中の水分によるものと考えた。

液体がしみこんだ濾紙から、濾紙の乾燥重量およびブランク実験により得られた大気中の水分による濾紙重量の増加を差し引いた値を、形成層周辺部の樹液量とした。調査は2006年12月から2007年7月まで継続して行った。

3. 結果および考察

3.1 糖含有量

糖類の分析の結果、フルクトース、グルコース、シュクロースの3種類の糖が検出された。これら3種以外の糖類の存在も認められたが、微量であるため、種類の決定には至らなかった。以下、糖含有量とはこれら3種類の糖の合計含有量をいう。

3.1.1 部位ごとの糖含有量

2006年5月から7月における外樹皮から木部までの各部位の糖含有量を表1に示す。

5月19日から7月26日にかけて採取した部位別の糖含有量は、スギの内樹皮で56.2~137.1 mg/g、ヒノキの内樹皮で42.3~101.0 mg/g と高い値を示

表1. 東京農工大学 FM 草木にて採取したスギとヒノキの部位別糖含有量

採取日	外樹皮	内樹皮	スギ	
			木部	形成層周辺液体
2006.05.19	26.2	59.2	37.2	33.8
2006.06.01	0	87.1	32	45.5
2006.06.16	26.7	56.2	—	36.9
2006.06.30	3.4	89	—	32.1
2006.07.26	30.8	137.1	—	34.3

採取日	外樹皮	内樹皮	ヒノキ	
			木部	形成層周辺液体
2006.05.19	34.7	56	66.2	31.8
2006.06.01	13.4	61.4	27.7	38.6
2006.06.16	29.5	42.3	—	41.2
2006.06.30	18.1	62.9	—	34.9
2006.07.26	8.6	101	—	25.4

外樹皮、内樹皮、木部は乾重あたりの糖含有量 (mg/g)、形成層周辺液体は容積あたりの糖含有量 (mg/ml) で示す。

した。スギの外樹皮では0.0~30.8 mg/g, ヒノキの外樹皮では8.6~34.7 mg/gと低かった。

現場で分析試料を採取するにあたり, 5月19日, 6月1日, 6月16日, 6月30日, 7月26日の時期は内樹皮を剥皮し易い上に, 内樹皮をはがすと液体が流れ出るほど豊富に存在し, 容易に液体を採取することができた。形成層周辺の高い糖含有量は, この形成層周辺の樹液に由来しているものと考えられる。

スギ, ヒノキへのクマ剥ぎを行う時期のツキノワグマの餌資源として知られているヤマザクラ液果の糖含有量は1000 mg/DWg (小池 2008) である。採食部位である木部の乾燥重量あたりの糖含有量は, ヤマザクラ果実と比較すると顕著に低い値であることがわかる。

ツキノワグマの採食習性として, 数種の餌植物に強く依存することが知られている (小池 2008)。春の植物の成長期には, 草本植物, サクラ類の果実, アリなどの動物質などが知られている。吉田ら (2002) は, クマ剥ぎ発生の年次変化に影響を与える他の餌資源として, ウワミズザクラの果実の豊凶を報告している。ヤマザクラやウワミズザクラは広葉樹林に単木的に存在しているために ha あたりにしても数十本のオーダーと考えられる。それに対して, スギやヒノキの場合には, 樹齢40年~50年の人工林になると一般に少なくとも1,000本/haの樹木が集中分布している。そのため小さな行動範囲で十分に餌にありつけるので移動によるエネルギーのコストを低く抑えることができる。果実が少ない時期なのでスギやヒノキの樹液は濃度が低いものの, 本数がまとまって存在し, 利用する側には効率が高い餌と言うことになる。西ら (2006) によると, スギ林の炭窯に滞在していた母仔グマは, 30日間スギを剥皮して生活しており, その間母親は仔グマに授乳していたということである。母親にどの程度の皮下脂肪が残っていたのか不明であるが, 少なくとも授乳時にスギの樹皮で食いつないでいたことは明らかである。

ツキノワグマがクマ剥ぎを行った傷跡から外樹皮と一緒に剥がれてしまう内樹皮は, 写真1に見るように垂れ下がるようにして現場に残されており, 内樹皮を採食した痕跡は残っていなかった。形成層周辺の樹液, さらには樹液が浸潤する木部を下顎でこそぎとるように採食していた (写真2)。糖含有量の高い内樹皮を摂食しない理由については, 採食

の難易の問題などが考えられるが, 本研究においては究明には至らなかった。

3.1.2 木部の糖含有量の季節変動

ツキノワグマは形成層周辺部に浸出する液体が含まれた木部の表面を採食している。採食する木部の厚さは400~500 μm と薄く (大土井 2004), 表面を浅く下顎でこすりあげるようにして採食している。形成層周辺の樹液は9月以降分析可能な量が採取できなかったため, スギ, ヒノキの糖含有量の季節変動の指標として, 採食部位である木部表面の乾燥重量あたりの糖含有量を用いた。木部における糖含有量を図2および図3に示す。

スギの木部の糖含有量は, 5, 6月は30~40 mg/g, 10, 11月も5, 6月もほぼ同じ値を示した。12月になると150 mg/gと急激に上昇した。植物の成長が休止する1月, 2月は12月と同じ値を示した。3月, 4月になるとやや低下し100 mg/gとなった。この季節的な糖含有量の変化は, ヒノキにおいても同様に認められた。このように植物の成長期と休止期で明らかな差が認められた。スギ, ヒノキともに, 植物の成長期よりも成長休止期にあたる12月~2月および3, 4月に糖含有量が高くなった。

植物は冬期に細胞の凍結を回避する戦略として,

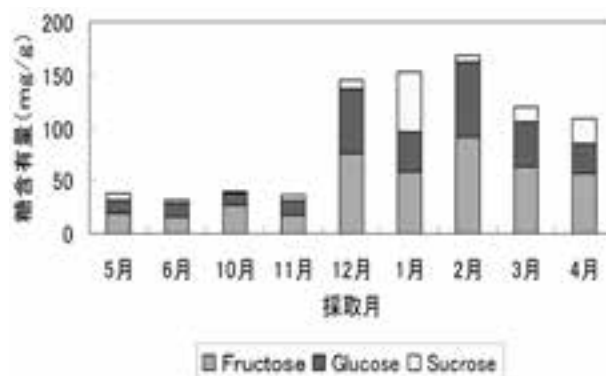


図2. スギ木部の糖含有量

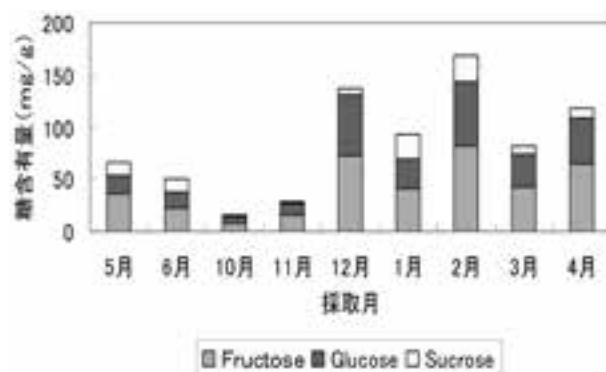


図3. ヒノキ木部の糖含有量

伸長停止後、秋に木の枝の韌皮組織や木部射出髄組織に蓄積した澱粉を気温が5℃以下に低下してくると糖や糖アルコールに変え、細胞の浸透濃度を高めることがクワを用いた実験で報告されている(吉田・酒井 1967)。スギ、ヒノキの冬季の糖含有量が高かったのも秋口以降の対策という同じ理由からと考えられる。

草木周辺のスギは指針法によると4～6月ごろに成長期を迎える(久保 1983)。5月、6月に糖含有量が少ない値を示したのは、貯蔵栄養分が成長に使われたためと考えられる。

3.2 形成層周辺部の樹液の季節変動

各月における形成層周辺部の樹液量の変化を図4に示す。

12月～4月ではスギ、ヒノキ共、形成層周辺部には組織から分離して溢れるような液体がほとんど存在していなかった。1月～3月に比べやや多い12月や4月の微量な液量の違いをこの実験で用いた水分の捕捉方法で確認することができた。その後ヒノキでは5月に急激に上昇し、6月・7月は5月の50%にまで減少した。スギでは4月から5月にかけて樹液量が徐々に増加し、5月から6月に急激に増加し、7月には急激に減少した。スギ・ヒノキともに樹液量の変化のパターンは類似したが、ヒノキの方が急激な増加・減少の時期が1ヶ月ほど早いことがわかった。

先述したように、現地でスギ・ヒノキの分析試料を採取するにあたり、5月19日、6月1日、6月16日、6月30日、7月26日の時期は内樹皮を剥皮し易い上に、内樹皮をはがすと液体が流れ出るほど豊富に存在し、容易に液体を採取することが出来た。8月以降になると試料採取のための剥皮が難しくなり、成長休止期には非常に難しくなった。樹皮の剥

がれやすさと樹液の浸出量是对応するようで、浸出量が少なくなるにつれ内樹皮を剥がすのに時間がかかった。糖含有量分析用の試料を採取した際に流れ出した液量から判断すると、スギ、ヒノキとも8月以降はさらに液量が減少すると予測できる。

写真2に見るようにツキノワグマは下顎によって下から上にすくい上げるように形成層周辺部の液体、または液体が浸潤する木部を採食していると考えられる。これまで現地の職員による直接観察により草木においてクマ剥ぎが発生する時期は5月下旬、6月、7月と言われてきた。その時期は形成層周辺部の樹液が豊富に存在する時期であることがわかった。

大井(1999)によって報告されたスギの剥皮試験の結果においても、4月～7月の樹皮と木部の接着力は弱い。草木周辺のスギは、4～6月ごろに成長期を迎える(久保 1983)ことから、樹皮と木部の接着力は弱く、簡単に剥皮することができたといえる。

クワの枝の韌皮組織の耐凍性の実験で、9月10日頃に伸長が停止し、冬芽が形成され休眠にはいると、形成層部の活動が停止し、剥皮できない状態になる。この現象は、その後、韌皮組織の含水量が減少し、多量の糖やデンプンが蓄積され、木部の放射組織にもデンプンが蓄積され、韌皮細胞が凍結に耐えるようになる一連の過程で起こる現象である(酒井 1995)。このように秋に近づくにつれて、樹皮部や木部の組織や含水率に変化が生じ、樹皮が剥がれにくくなるのは多くの植物で認められ、スギやヒノキの木材生産での伐採時期も樹皮が剥がれにくくなる以降を適期としている。

実際に糖含有量分析用の試料採取の際にも、5月～7月に比べて8月以降徐々に剥皮が困難になり、特に冬期はきわめて試料採取に手間がかかった。形成層周辺部の樹液の増加と剥皮のしやすさとは密接な関係にあることが示唆された。

4. まとめ

形成層周辺部の樹液の季節変動結果から、樹液はスギでは6月、ヒノキでは5月に明らかに多く、ツキノワグマが採食を行う時期と樹液が豊富な時期と重なっている。試料を採取する際にも形成層周辺部の樹液が豊富な5月～7月は、剥皮を行うことがきわめて容易であった。剥皮しやすいことは、ツキノワグマにとり採食時のエネルギーコストを低下させ

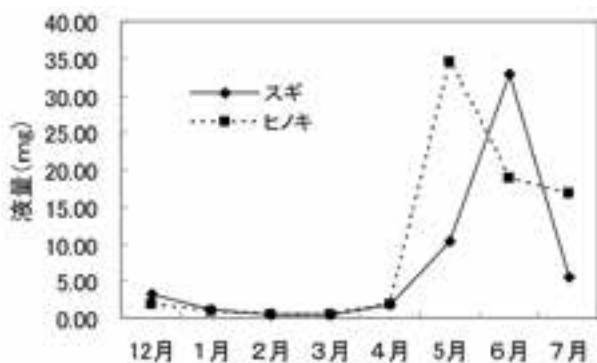


図4. スギ・ヒノキの形成層周辺部に浸出した樹液量の季節変動

るので、他の樹木に比べて本数密度が著しく高く集中分布するスギやヒノキの壮齢人工林は、植物の成長期の初期には格好の餌資源の場になると予測される。

以上の結果より、5月から7月にかけてツキノワグマがクマ剥ぎを行う要因は、餌の栄養価よりも、餌資源の量と剥皮のしやすさ、つまり安定して得られる食物資源であるということが大きいと考えられる。

現在行われている薬剤塗布や資材巻きつけといったツキノワグマを排除することによってクマ剥ぎを防除する方法のみでは、ツキノワグマはこの時期に餌資源を奪われることとなり、薬剤塗布や資材巻きつけを行った以外の場所へ追いやるに過ぎず、根本的なクマ剥ぎ防除はできないであろう。

一方で、ツキノワグマは現在、地域的に絶滅が危惧されている。ツキノワグマの個体数の減少を食い止め、かつ林業被害を軽減させるためには、薬剤や資材を用いた防除策に加え、スギ、ヒノキの代替となる餌資源を確保するという選択肢を考える必要がある。

先述したようにツキノワグマは直接観察が難しいこともあって、その生態は不明な点が多い。その一方でアンブレラ種として地域の生物多様性を保全する際の指標となっており、森林では種子散布をはじめ大きな役割を果たしていることが、明らかになりつつある。スギ・ヒノキの人工林といえども、周囲の生態系の様々な生物の影響を受けているので、狭い視野でクマの樹皮剥ぎを人工林管理の問題としてだけで捉えるのではなく、地域全体の森林生態系の健全な維持管理という観点から、クマの存在や役割を再認識した上でクマ剥ぎの防止対策技術を検討していく必要がある。

クマ剥ぎという林業被害の大きさから、これまで駆除一辺倒で行われてきた対策を見直し、クマ剥ぎのメカニズムの解明を急ぐべきである。

謝辞

分析試料の採取時にはFM草木の職員の星野茂雄氏、桑原誠氏、桑原繁氏、金子喜一郎氏に協力いただいた。糖含有量の分析には東京農工大学農学部松村昭治准教授、日本生命科学大学時田昇臣講師に協力いただいた。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Kengo Frubayashi, Kenichi Hirai, Koichi Ikeda, Tamio Mizuguchi (1977) Relationships between Occurrence of Bear Damage and Clearcutting in Central Honshu, Japan *Bears : Their Biology and Management*, Vol. 4, A Selection of Papers from the Fourth International Conference on Bear Research and Management. Kalispell, Montana, USA, 81-84.
- 岐阜県根尾村 (1999) ツキノワグマの生息実態調査報告書, 100 p.
- 久武俊也 (1999) ツキノワグマによる樹皮剥ぎの被害形態について. 野生鳥獣研究紀要, No. 26, 栃木県民の森管理事務所, 16-20.
- 久保隆文・塩原 豊・蕪木自輔 (1983) 樹冠量の異なったスギの年輪構造及びその形成 (第4報) 木部形成活動の季節変化. 東京農工大学農学部演習林報告, No. 19, 21-26.
- Koike S, Kasai S, Yamazaki K, Furubayashi K. (2008) Fruit phenology of *Prunus jamasakura* and the feeding habit of the Asiatic black bear as a seed disperser. *Ecological Research* 23 : 385-392.
- 丸山哲也・鈴木誠一・大輪清二 (2002) ツキノワグマによる剥皮害防除試験—不織布製防止シートおよび目玉型バンドを用いた効果調査—. 野生鳥獣研究紀要, No. 28, 栃木県民の森管理事務所, 33-36.
- 西 真澄美・野崎英吉・八神徳彦・上馬康生・中田彩子 (2003) クマの食料としてのスギ形成層周辺部糖含有量について. 石川県白山自然保護センター研究報告, 第30集, 43-47.
- 大井 徹 (1999) ニホンジカによる林業被害防除のための生態学的研究. 東北森林学会誌, 第4巻第2号, 25-28.
- 大土井春子 (2004) FM草木にけるクマ剥ぎの特性. 東京農工大学卒業論文, 35 p.
- Poelker Richard and Hartwell Harry (1973) Black bear of Washington - Its biology, natural history and relationship to forest regeneration. Washington state game department. *Biological Bulletin*, No. 14, 180 p.
- 酒井 昭 (1995) 植物の分布と環境適応—熱帯から局地砂漠へ—. 14. 木本植物の低温馴化と季節

- 適応, 102-108, 朝倉書店, 164 p.
- 高橋喜平 (1960) ツキノワグマ物語. 林寿郎編, 少年少女動物記(2), 筑摩書房, 198 p.
- 鳥居春己 (1989) 静岡県におけるツキノワグマ猟とその林木被害. 森林防疫, 38 (11): 7-14.
- 宇田川竜男 (1961) 野生鳥獣の保護と防除. 農林出版, 427 p.
- 鷺谷いづみ・矢原徹一 (1996) 保全生態学入門. 文一総合出版, 270 p.
- 渡辺弘之 (1974) ツキノワグマの話. NHK ブックスジュニア25, 日本放送出版協会, 172 p.
- 山田文雄・小泉 透・伊藤進一郎・山田利博・三浦由洋・田中正己 (1992) ニホンツキノワグマによる剥皮のスギ材質に及ぼす影響. 103回日林論, 545-546.
- 吉田静夫・酒井 昭 (1967) 木本類の耐凍性増大過程 Ⅷ. ニセアカシアの幹の耐凍性と物質変動の関係, 低温科学, 生物編, 25, 29-44
- 吉田 洋・林 進・堀内みどり・坪田敏男・村瀬哲磨・岡野 司・佐藤美穂・山本かおり (2002) ニホンツキノワグマ (*Ursus thibetanus japonicus*) によるクマハギ発生要因の検討. 哺乳類科学, 42(1), 35-43.
- 吉村健次郎・田端 守・福井広至 (1980) ツキノワグマによる森林の被害と防除に関する研究—山地別スギおよび主要樹種の樹液分析 (I), 91回日林論, 397-398.
- 吉村健次郎・福井宏至 (1982) ニホンツキノワグマによる森林の被害と防除に関する研究—クマハギ被害の実態と樹皮に含まれる α -pinene に対するクマ類の反応について—, 京都大学農学部演習林報告, 54, 1-15.

研究資料不耕起・無代掻き水田における水稻病害虫の
自然制御に関する研究

本林 隆

Natural regulation of insect pests and diseases of rice
plants in no-tilled and non-puddling rice paddies

Takashi MOTOBAYASHI

No-tilled and non-puddling rice paddy systems (non-tillage paddies) generate soil conditions that are very different from conventionally tilled paddy systems (tillage paddies). The chemical and physical changes in soil-properties have been well investigated. However, few studies have examined other aspects of non-tillage paddies, such as the effects of insect pests, natural enemies, diseases, etc. Some reports have shown that the density of wolf spiders is higher in non-tillage paddies than in tilled paddies; in contrast, insect pest density tends to be lower in non-tillage paddies (Hidaka, 1990; Ishijima *et al.* 2004). This suggests that natural processes regulated insect pests more effectively in non-tillage versus tillage paddies. In this study, I investigated the dynamic relationship between insect pests and spiders to evaluate the function of natural regulation in non-tillage paddies. In addition, to examine the natural regulation of rice plant diseases in non-tillage paddies, the severity of rice sheath blight epidemics caused by *Thanatephorus cucumeris* and subsequent yield losses were compared between tillage and non-tillage plants.

1. Dry matter production and related characteristics of rice plants cultivated in non-tillage paddies.

Dry matter production and related characteristics of rice plants cultivated in non-tillage paddies (non-tillage plants) were compared to those cultivated in tillage paddies (tillage plants) from 1997 to 1999. Grain yield was not significantly different between the two cultivation methods; however, yield components differed slightly. In 1997 and 1998, non-tillage plants had fewer spiklets per square meter but a larger thousand grain weight than conventional tillage plants. In 1999, both the number of spiklets per square meter and the percentage of ripened grain tended to be higher in non-tillage plants. Dry matter weight was lower in non-tillage plants than in tillage plants until the early ripening stage. This resulted from a lower leaf area index (LAI) in non-tillage plants during the plant growth phase. In contrast, during the later ripening period, the crop growth rate (CGR) was higher in non-tillage plants due to a higher net assimilation rate (NAR). As a result, no difference was observed in the dry matter weight obtained from tillage versus non-tillage plants. The difference in NAR may have been the result of differences in photosynthetic rates during ripening. It is possible that the higher photosynthetic rate in non-tillage plants was related to the maintenance of high nitrogen levels in the leaves.

2. Severity of epidemics of rice sheath blight caused by *Thanatephorus cucumeris* in non-tillage versus tillage rice plants.

The severity of rice sheath blight epidemics was compared between non-tillage versus tillage paddies from 1999 to 2001. Non-tillage rice plants grew more slowly and the tiller numbers were lower compared to

*1 東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター
〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8

those in tillage rice plants during the early growth stage. Consequently, the number of sclerotia attached to seedlings decreased significantly in the non-tillage rice plants. Primary *T. cucumeris* infection then fell behind in the non-tillage rice plants, and disease development also tended to be suppressed on the upper leaves. Artificial inoculation with the fungus indicated that the infection rate in the non-tillage rice plants was lower than that in the tillage rice plants. This suggests that the non-tillage rice plants increase their physiological tolerance to the disease. The yield loss was much lower in the non-tillage rice plants, with or without chemical application. These results suggest that non-tillage cultivation is an effective method to help the control rice sheath blight.

3. Comparison of spider assemblages in non-tillage versus tillage rice paddies.

I investigated the abundance and biomass of spiders in non-tillage and tillage paddies from 1999 to 2001. In total, we collected 6829 spiders belonging to 13 species in seven families. The family Lycosidae was the most abundant, followed by Tetragnathidae, Linyphiidae, and Salticidae. Spider abundance and biomass were higher in non-tillage than tillage paddies throughout each cropping season. Although we detected no significant effect of tillage on spider abundance, we did observe a significant effect on spider biomass in 2000 and 2001. No differences were found in abundance or biomass in tetragnathid or linyphiid spiders during the cropping season. In contrast, the abundance and biomass of lycosid and salticid spiders tended to increase in non-tillage paddies compared to tillage paddies, especially later in the cropping season.

4. Comparison of insect pest incidences in non-tillage versus tillage rice paddies.

I investigated the density of leaf hoppers and two lepidopteran pests, the rice leafroller (*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée) and the rice skipper (*Parnara guttata guttata* Bremer et Grey) in non-tillage and tillage paddies. The density of hoppers tended to be lower in non-tillage versus tillage fields. In contrast, no differences were observed in younger larval density of the rice leafroller in non-tillage versus tillage fields. The younger larval density of the rice skipper was slightly higher in non-tillage paddies, but older larval density and pupal density of both insects were lower compared to tillage paddies. These results suggest that the mortality rate was higher among older larvae of the rice leafroller and rice skipper in non-tillage paddies.

5. Spider predation on insect pest populations in non-tillage paddies.

I constructed life tables for the immature stages of the migrant skipper after artificial inoculation into non-tillage versus tillage paddies in 2000 and 2001, and then conducted a spider removal experiment in 2001. The life tables showed that the migrant skipper larval mortality rate was significantly higher in non-tillage paddies, although I was unable to determine the cause. The spider removal experiment suggested that the presence of spiders was related to the high mortality rate of migrant skippers in non-tillage paddies.

6. Comparison of recovery effects for damage caused by leaf-eating insects in rice plants cultivated in non-tillage versus tillage paddies.

Rice plants were artificially defoliated at the heading stage in 2001 to simulate damage caused by leaf-eating insects, such as the rice leafroller and the rice skipper. The effect of defoliation on yield was assessed through changes in the recovery rate of rice plants. Yield loss increased with increasing defoliation in both paddy systems. However, non-tillage paddies showed less yield loss and dry matter production during the ripening stage tended to be higher than in tillage paddies. This difference was due to a higher net assimilation rate (NAR) in non-tillage rice plants, suggesting that recovery from leaf-eating insects was faster in non-tillage rice plants than in tillage rice plants.

水稻の不耕起・無代掻き栽培は耕起・代掻きを行わないことから、耕起・代掻き栽培の水田とは土壤の性状が異なる。このため、本栽培法に関しては主に土壤の物理化学的な特性に関する研究が展開され、得られた知見を基に実用的な技術開発が進められてきた。しかし、病害虫管理など、土壤肥料的な観点以外の面

からの研究は極めて少ない。こうした中で、日鷹（1990）はレンゲ草生・不耕起水田では、水稲害虫の主要な天敵であるキクヅキコモリグモの密度が高まることを報告している。また、共同研究者の石島（2004）は、不耕起水田ではコモリグモ類の密度が高まり、ツマグロヨコバイの個体群動態に影響することを示唆している。

本研究では、不耕起水田における害虫の自然制御機能を評価するために、水稲害虫と天敵のクモ類の間の動的な関係を調査した。さらに、不耕起水田における病害の自然制御機能について検討するために、本研究を行った圃場で常発するイネ紋枯病を対象に両水田における動態を調査し、両水田における水稲の生育相の相違との関係を検討した。

1. 不耕起栽培および代掻き栽培された水稲の生育・収量、乾物生産過程の特徴

1997年～1999年の3年間にわたり、東京農工大学農学部附属農場（現在、農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター）の水田に設定した不耕起区および代掻き区において、水稲の生育・収量および乾物生産過程を比較した。

両区の玄米収量には有意な違いはみられなかったが、収量構成要素には若干の相違がみられた。すなわち、1997年および1998年では、 m^2 当たり籾数は不耕起区の方が代掻き区に比べて少なかったが、千粒重は不耕起区の方が代掻き区に比べて多かった。1999年は、 m^2 当たり籾数および登熟歩合は代掻き区に比べて不耕起区の方が多い傾向がみられた。

地上部乾物重はいずれの年も、分けつ期から登熟中期の期間では不耕起区が代掻き区に比べて小さかったが、これは、この期間中の平均葉面積指数（LAI）が不耕起区で小さかったためと考えられた。一方、登熟中期以降、不耕起区では代掻き区に比べて純同化率（NAR）が大きかったことにより個体群生長速度（CGR）が大きく、その結果、収穫期では両区の地上部乾物重には違いがみられなかった。登熟期のNARの違いは、両区の光合成速度の違いに起因していたと考えられた。不耕起区の水稲におけるこのような高い光合成速度は、葉身における高い窒素レベルの維持と関係している可能性があると考えられた。

2. 不耕起水田および代掻き水田におけるイネ紋枯病の発生・動態の比較

1999年～2001年の間、不耕起区および代掻き区で栽培された水稲におけるイネ紋枯病の発生・動態を比較した。不耕起区で栽培された水稲は代掻き区の水稲に比べて生育初期の生育が緩慢で、茎数は少なく推移した。その結果、紋枯病菌核の水稲苗への付着数は、代掻き区に比べて不耕起区では有意に低下した。このため不耕起区では、紋枯病の一次感染が代掻き区に比べて遅れ、上位葉への病勢の進展も抑制される傾向がみられた。

両区の水稲に対して紋枯病菌糸の接種実験を行った結果、接種した葉鞘での発病率は、代掻き区の水稲に比べて不耕起区の水稲の方が低かった。このことは、不耕起栽培された水稲では、代掻き栽培された水稲に比べて、紋枯病に対する生理的耐病性が高い可能性があることが示唆している。

紋枯病による玄米収量への影響を不耕起区および代掻き区で比較するために、両区の紋枯病防除区（バリダシン散布区）および無防除区（バリダシン無散布区）において収量調査を行った。その結果、いずれの年も代掻き区に比べて不耕起区では、バリダシン散布区に対する無散布区の減収率は低かった。

これらの結果は、水稲の不耕起栽培は、イネ紋枯病を抑制する有効な方法であることを示唆している。

3. 不耕起水田および代掻き水田におけるクモ群集

1999年～2001年の間、不耕起区および代掻き区において、稲株上および田面水上のクモ類の個体数およびバイオマス量を調査した。

3年間の調査で、7科15種、6,829個体（不耕起区では3,993個体、耕起区では2,836個体）のクモが採取された。個体数の上ではコモリグモ科（Lycosidae）、続いてアシナガグモ科（Tetragnathidae）、サラグモ科（Linyphiidae）そしてハエトリグモ科（Salticidae）のクモが優占していた。

3年間とも調査期間中の両処理区におけるクモ個体数およびバイオマス量は、代掻き区に比べて不耕起区で高い傾向がみられた。クモの個体数に関しては両区間に有意な相違は見出せなかったが、バイオマス量については両区間に有意差が認められた。

クモの科ごとに個体数およびバイオマス量を比較すると、アシナガグモ科およびサラグモ科では、個体数およびバイオマス量ともに栽培期間を通して違いはみられなかった。一方、コモリグモ科、ハエトリグモ科の個体数およびバイオマス量は、代掻き区に比べて不耕起区で増加する傾向がみられ、特に、栽培後期でその傾向は顕著であった。

4. 不耕起水田および代掻き水田における害虫（ウンカ・ヨコバイ類、コブノメイガ、イチモンジセセリ）の個体数変動

水稻栽培期間中の不耕起区および代掻き区における主要な水稻害虫（ウンカ・ヨコバイ類、コブノメイガおよびイチモンジセセリ）の個体数変動を調査した。区画あたりのツマグロヨコバイ、イナズマヨコバイおよびウンカ類の個体数は、2000年および2001年のウンカ類を除いて、代掻き区に比べて不耕起区の方が少ない傾向がみられた。

コブノメイガ若齢幼虫の個体数には両区間に違いはみられなかった。また、イチモンジセセリ若齢幼虫の個体数は、代掻き区に比べて不耕起区の方が若干多い傾向がみられた。しかし、コブノメイガ、イチモンジセセリとも、老齢幼虫および蛹の個体数は代掻き区に比べて不耕起区の方が少なかった。これらの結果は、コブノメイガおよびイチモンジセセリでは、老熟期の死亡率が代掻き区に比べて不耕起区で高いことを示唆している。

5. 不耕起水田のクモ群集がイチモンジセセリ個体群に及ぼす影響

2000年および2001年に不耕起区および代掻き区においてイチモンジセセリの未成熟ステージ（卵～蛹）について接種個体群を用いて生命表を作製した。また、2001年に、クモ類の除去実験を行った。

イチモンジセセリ老齢幼虫の死亡率は、代掻き区に比べて不耕起区で有意に高かった。しかし、その主要な要因は不明死亡であり、原因を特定できなかった。そこで、クモ類の除去実験を行った。

クモ類の除去実験の結果、不耕起区における死亡率の増大がクモ類の存在と関係していることが示唆された。

6. 不耕起栽培された水稻の食葉性害虫による被害に対する補償作用

2001年の出穂期に食葉性害虫（コブノメイガやイチモンジセセリなど）による食害を想定し、不耕起区および代掻き区において水稻の切葉実験を行った。

各切葉区における収量調査の結果、耕起区および代掻き区いずれにおいても、切葉程度が高まるのに伴って玄米収量は減少した。しかし、不耕起区における切葉による玄米の減収程度および乾物生産量の減少程度は、代掻き区のそれらに比べて小さい傾向がみられた。この相違のは両区の水稲における純同化率（NAR）の相違に起因していると考えられ、不耕起栽培された水稲は、代掻き栽培された水稲に比べて食葉性害虫の食害に対する補償能力が高いことを示唆している。

第1章 緒言

第二次世界大戦後から現在に至る60年間に、わが国の稲作における栽培条件は、技術の近代化に伴い大きく変貌してきた。戦後から1960年代は米の安定・多収が求められ、穂重型品種から穂数型品種への移行、作期の早期化、化学肥料や化学農薬の多投入、密植などによって生産性が著しく向上し、1960年代後半に米自給率は100%に達した。しかし一方で、1960年代前半には米の需要が減少に転じ、生産過剰の状況となった。このため1970年代以降は米の高品質化、省力生産が求められ、コシヒカリやササニシキに代表される良食味品種への集中化が進んだ。また、移植および収穫作業の機械化の進展、化

学肥料や化学農薬の一層の普及により、さらに省力化が図られた。水稻栽培にかかる労働時間は1960年の約170時間/10 a に比べて、2006年では29時間/10 a と、約17%に減少した。一方、機械や資材さらに投入エネルギーにかかるコストは増大している（米及び麦類の生産費・農林水産省統計情報部）。また、米需要の減少に伴う慢性的な生産過剰、外国産米の輸入増加、農家の高齢化・担い手不足など、稲作農家をめぐる社会・経済的状況は極めて厳しく、労働力・投入資材・投入エネルギーの低減による一層のコスト軽減が求められている。他方、消費者の農産物に対する安全性への要望は強く、また、環境負荷軽減の観点から化学農薬や化学肥料の使用削減が求められている。

こうした状況を背景に、全国の精農家の間では、直播栽培、堆肥・有機質肥料を中心にした減農薬・減化学肥料栽培、成苗深水灌漑栽培、疎植1本植栽培など様々な栽培方法が試みられている。こうした様々な栽培法の中で、耕起・代掻きを全く行わずに水稲を栽培する不耕起無代掻き栽培（以下、不耕起栽培）に取り組む農家がみられる。

水稲の作付け前に行われる耕起作業（秋耕および春耕）は、栽培期間中の土壤窒素の発現を促進する効果（乾土効果）や冬・春雑草の抑制などを目的に行われる。また、代掻きは、移植を容易にすること、移植精度を高めること、苗の活着・初期生育の促進などに加え、漏水防止、雑草の抑制などの効果を目的に行われており（農学大辞典 1987；川口 1978）、いずれの作業も水稲の栽培管理上極めて重要な意義を持っている。特に代掻きは、移植栽培では必須の作業工程と考えられてきた。しかし、代掻きは一方で、土壤の団粒構造の破壊、土壤還元促進に伴う有害物質の蓄積による水稲根の生育阻害、地耐力の低下による収穫作業の阻害など、必ずしもメリットばかりではない（熊野ら 1985）。また、水稲の栽培管理作業に占める耕起・代掻き作業の割合を労働時間でみると、この40～50年間はほぼ全作業時間の10～13%前後を占め、収穫作業、田植作業に次いで長時間を要する（米及び麦類の生産費・農林水産省統計情報部）。さらに、田植え計画を進めるに当たり、水利、育苗状況、本田の土壤状態の調整に配慮を要することは、単に時間的には計りえない心労となり（熊野ら 1985）、農家の負担となってきた。

このような代掻きの持つ問題点を改善する目的でこれまでも不耕起栽培に関する検討が行われ、特に、省力化の観点から実用的な栽培方法の確立を目指した栽培試験や関連する機械の開発が進められてきた。水稲の不耕起栽培には直播栽培と移植栽培がある。不耕起直播栽培は岡山県が先進地であり、大正時代から行われていたとされるが（富久 1994）、本格的に検討されたのは戦後になってからである。1960年代には米麦連続不耕起栽培（福岡 1962）、小麦栽培跡地での水稲の不耕起直播栽培（若林ら 1963）、イタリアンライグラス栽培跡地での水稲の不耕起直播栽培（千葉ら 1970）など、不耕起直播を採り入れた様々な栽培体系に関する検討がなされた。こうした中で、1966年に岡山農試で体系化された不耕起乾田直播は極めて簡単な栽培法であったた

め、耕うん機を持たない小規模農家を中心に広く普及し、1975年にはその栽培面積が1,000 haを超えていた。しかし、コンバインの普及により収穫後の排わらが播種を困難にしたため、この栽培法は急減した。その後、再び岡山農試で収穫後の排わらがあっても播種が可能な播種機が開発され、1994年時点で約100 haで不耕起直播栽培が行われている（岡武 1995）。

一方、新潟県の中山間地の農家では、以前から労力が不足した際に耕起・代掻きをせずに田植えをする習慣があったようである（杉本 1963；國武ら 1964）。また、「馬いらず」「ずぼら植」「横着植」など農繁期における労力軽減や用水量の不足から耕起・代掻きを全廃して移植する試みも各地で行われていた（熊野ら 1985）。田植機が普及した1970年代になり、普通田植機による不耕起での機械移植栽培が検討された（小野ら 1973；橋本ら 1978；高橋ら 1990）。その後、大潟村の稲作農家、山崎政弘氏によって不耕起専用の田植機が考案され、農林水産省農業研究センターでも部分耕起田植機が開発された。また、農機具メーカーでも不耕起用田植機の開発が進み、1980年代後半には数社から市販されるに至り、実用技術として農家でも取組まれるようになった（金田 1994）。

これらの技術開発と並行して土壤肥料的観点から、代掻きの有無と土壤の物理化学性に関する比較検討もなされ、以下のような知見が得られている。すなわち、不耕起土壤では前作の亀裂や水稲根が腐植分解して残った根成孔隙による鉛直方向への透水性が高いこと（佐藤 1992）から、不耕起水田の土壤は耕起水田に比べて酸化的であること（坂井ら 1968；長野間ら 1989）、また、不耕起土壤では土壤窒素の無機化量が耕起土壤に比べて相対的に少ないが、その発現時期が遅れ、生育中期から後期に最大となること（大森ら 1970；野々山ら 1976）、さらに、このような土壤窒素の発現パターンを反映して不耕起水田の水稲では生育初期の窒素吸収量は耕起水田に比べて低いが、生育後期ではむしろ窒素吸収量が多くなること（野々山ら 1976；金田ら 1990）、これら土壤の物理化学的特長から、不耕起水田では、水稲の初期生育は代掻き水田に比べて劣るが、後期の生育は旺盛であること（野々山 1976）などが報告されている。これらの知見を基に不耕起土壤の有する問題点、特に、生育初期の土壤窒素の無機化量が少ないこと、および施肥窒素の利用率が低い

ことなどを改善するために、条間の土壤中に肥料を埋め込む局所施肥（坂井ら 1968）、あるいは被覆尿素を用いた育苗箱全量施肥（金田ら 1994）など実用的な施肥法の検討も行われている。この他、不耕起土壌では土壌硬度が高まり収穫作業が容易になること（長野間ら 1989）、不耕起水田では稲わらなどの植物残渣がすきこまれず、土壌が酸化することからメタンの発生量が代掻き水田に比べて少ないこと（金田ら 1992；石橋 1995）、不耕起水田では代掻き後の落水工程がないことから河川などを汚濁する危険性が少ないこと（長谷川 1995）など、不耕起栽培の環境負荷軽減効果についても若干の知見が得られている。一方、雑草に関しては、不耕起栽培の継続により一年生雑草から多年生雑草へと構成種が変化するため、使用する除草剤の種類を変更する必要がある（在原、私信）。また、不耕起栽培では移植前に越年生雑草の防除が必要であり、さらに、田面の均平が悪いと除草剤の効果が劣る可能性があるため、雑草防除を除草剤に頼る場合は、除草剤の使用回数が代掻き水田に比べて多くなることが指摘されている（長谷川 1995）。

このように水稻の不耕起・無代掻き栽培の実用化を目指して播種機や移植機の開発、さらに栽培試験が行われ、実用技術として普及も図られてきた。また、一部ではあるが、環境負荷軽減効果についてもプラス・マイナス両面での評価が得られている。一方、不耕起・無代掻き栽培が水田に生息する生物に及ぼす影響を、検討した例は極めて少ない。

アメリカでは1930年代に畑地の土壌浸食が深刻化し、耕地土壌の保全のために耕起作業を見直す動きが始まった（Bennett 1935）。1950年代に入り除草剤が導入され、耕起による雑草防除の必要性が薄れたことにより、減耕起あるいは不耕起による作物栽培が農家に採用され“Conservation tillage agriculture”として普及した（Stinner and House 1990）。

畑作における耕起作業は病害虫管理の観点からみると、土壌表層や前作物残渣中に残存する病害虫を土壌にすき込むことや生息場所を破壊することによる防除の効果がある（Gebhardt *et al.* 1985）。

しかし、Stinner and House (1990) の総説によると、不耕起あるいは減耕起によって個体群密度あるいは作物被害が増大した害虫種は、報告された51種中28%で、特に土壌生息性の害虫が減耕起条件下で増加する傾向がみられた。一方、耕起の有無が影響しなかった種は29%、不耕起あるいは減耕起に

よって密度あるいは被害が減少した種は43%であった。また、植物病害に関しても、特に土壌由来の病害が耕起の有無の影響を強く受け、前作の感染作物残渣から後作の作物へと感染するような病原（Rhizoctonia root rot, Pythium root rot など）は耕起栽培では問題にならなかったが、不耕起あるいは減耕起栽培では問題化した。一方、乾燥ストレスによって感染が助長されるような病原（Fusarium common root rot）、あるいは作物の株基部が湿潤になることによって感染が助長されるような病原（foot rot）は不耕起あるいは減耕起栽培では発生が抑制された（Bockus and Shroyer 1998；Cook 2000）。Hammond (1987) は、Conservation tillageによって害虫が全体的に増加するわけではなく、それぞれの種の個体数や経済的重要性に変化が生じるとしている。このように、畑作物では、耕起栽培と不耕起あるいは減耕起栽培では、問題となる病害虫に違いがあることが示されている。

一方、ニップリング (1989, 小山重郎・晴子訳) によると、化学農薬の施用と同様に耕起は餌資源や生息場所の物理的破壊によって耕地土壌に生態学的不均衡をもたらし、害虫のみならずそれらの天敵などの有益昆虫にも重大な影響をもたらすとしている。減耕起あるいは不耕起の土壌では、作物や雑草の残渣が土壌表層に堆積し、極端な温湿度の変化が少なくなる（Griffith *et al.* 1986）。このため、土壌中あるいはリターに生息する節足動物にとってはより安定した生息環境が提供される（Stinner and House 1990）。また、クモ類やオサムシ類などの捕食者は土壌表層のリターに生息するトビムシ類やダニ類などの分解者をしばしば餌にしており、植物残渣が地表に堆積し、分解者が豊富な不耕起土壌をより好むと考えられる（Stinner and House 1990；Wardle 1995）。

実際に、不耕起あるいは減耕起栽培圃場ではクモ類やオサムシ類などの土壌生息性の捕食者の密度が耕起栽培圃場に比べて高いことが様々な作物で知られている（House and All 1981；Blumberg and Crossley 1983；House and Parmelee 1985；Paoletti 1987；Stinner *et al.* 1988；Kendall *et al.* 1991）。さらに、Brust *et al.* (1985, 1986) はトウモロコシの耕起栽培圃場および不耕起栽培圃場で捕食者（オサムシ類、コモリグモ類、アリ類など）の除去実験を行い、不耕起圃場では耕起圃場に比べて捕食者の密度およびタマナヤガ（*Agrotis segetum* Denis *et* Schiff-

fermüller) に対する捕食率が高いことを示した。また, Landis *et al.* (1987) はトウモロコシの不耕起栽培圃場では耕起栽培圃場に比べてアリ類による *Helicoverpa assulta* Guenée の前蛹に対する捕食が頻繁に起こることを示した。このように減耕起・不耕起栽培圃場では捕食者による害虫に対するインパクトが高まる可能性が示唆されている。

近年, 天敵を利用した害虫防除法の一つとして, 農耕地生態系を天敵に好適な環境に改変し, それらの働きを高めることによって害虫密度を抑制しようとする生息地管理 (habitat management) が注目されているが, 不耕起あるいは減耕起栽培も生息地管理の一手法と位置づけられている (Landis *et al.* 2000)。

以上のように, 畑作における耕起の有無は, 病虫害の生息環境を直接改変することによって, また, 捕食者への影響を介した間接的な効果によりそれらの発生や動態に大きな影響を及ぼしている可能性があると考えられる。

一方, 水稻栽培では, 休閑期中の耕起に加え, 代掻き, 湛水が行われる。この一連の作業工程は, 水田に生息する生物に対して極めて大きな影響を及ぼすと考えられ, その影響は畑作における耕起に比べてさら大きいものと思われる。

動物群集に対する耕起・代掻きの影響についてみると, 休閑期に水田を生息場所としている動物の多くは生息場所が破壊され, 死亡するか水田外へと移出する。このため, 水稻移植後に水田に成立する動物群集は, ツマグロヨコバイ (*Nephotettix cincticeps* (Uhler)), キクヅキコモリグモ (*Pardosa pseudoannulata* Bös. *et Str.*), キバラコモリグモ (*Pirata subpiraticus* Bös. *et Str.*) など一部の再移入種を除き, ほとんどが移入種によって形成される。不耕起水田においても耕起・代掻きは行われえないものの, 湛水されるため多くの動物は水田外へ移出する。しかし, 水稻の刈り株や雑草残渣の一部は田面水上に残存し, 一部の動物にとっては一時的な生息場所の役割を果たすと考えられる。日鷹 (1990) は水稻作付け前にレンゲを栽培し, その後水稻を移植するレンゲ草生・不耕起栽培を試みた。その結果, 慣行代掻き栽培の水田に比較してキクヅキコモリグモの個体群密度が高く, 一方, セジロウンカ (*Sogatella furcifera* (Horvath)) の密度が低く推移したことを報告している。著者の茨城県, 栃木県, 福島県における不耕起水田の調査でも, コモリグモ類の密度が代

掻き水田に比べて高い傾向がみられた (本林, 未発表データ)。また, Ishijima *et al.* (2004) は不耕起水田では代掻き水田に比べてコモリグモ類の定着・増殖が早く, その結果, 水稻の生育後期 (8月中旬~9月) に密度が不耕起水田で高いことを示した。このように不耕起水田では代掻き水田に比べてコモリグモ類の密度が高まる可能性が示唆されている。

クモ類は水稻害虫の有力な天敵として働いていることが知られている (Itô *et al.* 1962; Heong *et al.* 1992; Way and Heong 1994)。Kiritani *et al.* (1970) はツマグロヨコバイの生命表解析を行い, 低密度時における死亡要因として, クモ類による捕食が重要であることを示した。また, Kiritani *et al.* (1972) は, 直接観察法により水田に生息するクモ類の餌捕獲量を推定し, キクヅキコモリグモおよびセスジアカムネグモ (*Ummeliata insecticeps* Bös. *et Str.*) がツマグロヨコバイの個体群制御に重要な役割を果たしていることを示した。しかし, これらの結果は代掻き水田で得られた結果である。Riechert and Lockley (1984) は, 多くの場面でクモ類のみでは害虫の制御が困難であり, これは, 農薬施用, 作物の植付けや収穫など農作業による攪乱によってクモ類の密度が減少することに起因しているとしている。代掻き水田に比べてコモリグモ類の密度が高まる不耕起水田におけるコモリグモ類と害虫の動態との関係に関しては, 未だ十分には検討されていない。また, コモリグモ類以外のクモ類や天敵に関しても, 検討はほとんど行われていない。

他方, 耕起・代掻きが植物病原微生物に与える影響に関しては, 稲紋枯病菌 (*Thanatephorus cucumeris*) のような耐久体で収穫後の水田内に残存するような種では直接的な影響を受ける可能性がある。小山ら (1998) は宮城県内の不耕起水田および代掻き水田にて紋枯病の発生状況を調査し, 不耕起水田の方が代掻き水田に比べて成熟期の本病による被害程度が大きかったとしている。一方, 堀・安楽 (1971) は, 不耕起土壌に比べて代掻き土壌は紋枯病の菌核が浮上しやすいことを実験的に示した。このように, 紋枯病に対する耕起・代掻きの有無の影響については断片的な知見しか得られていない。また, 紋枯病以外の病害についてはほとんど検討が行われていない。

ところで, 一般に作物の生育相と病虫害の発生は密接な関係があると考えられている。日鷹 (1990) は, 自然農法と慣行農法の水田における害虫の個体

群動態を比較する中で、各農法（栽培法）間の水稲生育相の違いが害虫個体群の動態に影響していることを示し、その重要性を強調している。

水稲の移植栽培における代掻きの目的には苗の活着や初期生育の促進が含まれているが、機械移植による浅植えは分げつ発生を旺盛にし、初期過繁茂、後期凋落型の生育相をとりやすく（木根淵 1969）、代掻きはこの傾向を助長する可能性があると言われている（熊野ら 1985）。一方、不耕起栽培された水稲では初期生育が代掻き栽培された水稲に比べて劣るが、生育後期では窒素吸収量がむしろ多くなり、生育が旺盛となることが示唆されている（野々山ら 1976）。このように代掻きの有無により水稲の生育相は異なる可能性があり、病虫害の動態を考える上で、不耕起栽培および代掻き栽培された水稲の生育相を把握することは重要な意義を持つと考えられる。また、生育相の違いは単に病虫害の発生や動態に影響するのみでなく、病虫害による被害の現れ方にも影響すると考えられる。特に、茎葉部を加害するものに関しては感染あるいは加害から収穫までの間に補償作用が働くことから、両栽培法においてこのような補償作用を解析・評価することは、病虫害管理を考える上でも重要である。

本研究では、東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センターの水田において不耕起無代掻き水田および耕起代掻き水田を設定し、それぞれの水田における水稲の生育相、病虫害の動態および害虫の主要な天敵であるクモ類の動態などについて野外調査を中心に比較検討した。

論文の構成は以下の通りである。

第2章では不耕起水田で栽培された水稲の生育・収量および乾物生産の特徴を主に生態生理学的観点から調査し、代掻き水田で栽培された水稲と比較した結果を記述した。第3章では不耕起水田におけるイネ紋枯病の発生動態およびその発病・進展に関わる要因を調査し、代掻き水田と比較した結果を記述した。第4章は不耕起水田における害虫およびクモ類の発生動態を調査し、代掻き水田と比較した結果を記述した。また、不耕起水田におけるクモ類の害虫個体群に対するインパクトを評価するために、イチモンジセセリ (*Parnara guttata guttata* (Bremer et Grey)) 未成熟ステージ個体群についての生命表を作製し、代掻き水田と比較した結果を記述した。第5章はイチモンジセセリ、コブノメイガ (*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)) などの食葉性害虫

による被害に対する水稲の補償作用について、不耕起水田および代掻き水田において切葉実験を行い、比較検討した結果を記述した。第6章では、総合考察として、不耕起栽培された水稲の生育相・乾物生産特性が病虫害の発生・動態および被害に対する補償作用に及ぼす影響について考察した。また、不耕起水田におけるクモ類が害虫個体群に及ぼす影響について考察した。さらにこれらを踏まえ、水稲の不耕起栽培が有する病虫害抑制機能の利用可能性について論じた。

第2章 不耕起水田で栽培された水稲の生育・収量および乾物生産の特徴

前書き

不耕起栽培された水稲は、代掻き栽培された水稲に比べ初期生育が抑制されるが、生育中・後期には根圏の分布も広がり、活性も高いため秋勝的な生育を示すとされている（金田 1992；安藤ら 1998）。しかし、このような不耕起栽培水稲の生育特性と乾物生産過程との関係や、それにかかわる要因について解析的に検討した報告は少なく、特に、生育後期の乾物生産過程に関しては不明な点が多い。また、水稲の生育パターンが病虫害の発生あるいはそれらによる被害程度に影響を及ぼすことはよく知られており、不耕起栽培水稲においても、その生育パターンや収量の成立過程を把握することは作物保護の観点からも重要である。そこで、まず第2章では不耕起栽培した水稲および代掻き栽培した水稲の生育・収量特性および乾物生産過程を比較するとともに、収量に大きな影響を及ぼす登熟期の群落構造、光合成速度、個葉の窒素含有量などを比較検討する。

第1節：不耕起栽培水稲および代掻き栽培水稲の生育・収量の比較

材料および方法

1. 圃場設計および栽培概要

実験には水稲品種「月の光」を用いた。1997年～2001年の5ヶ年にわたり東京農工大学農学部附属農場（現在、農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター）の水田に、耕起と代掻きを行わずに湛水、移植した不耕起・無代掻き区（以下、不耕起区）および通常の方法で耕起、代掻き後に移植した耕起・代掻き区（以下、代掻き区）を設

けた。各区を3あるいは4反復で同一の処理区が隣り合わないよう配置し、各反復の面積は1997年～1999年は2.3～2.8 a, 2000年～2001年では3.0～3.7 aとした(図2.1)。表2.1には、調査期間中の月別平均気温、月別最高最低気温および降水量を示した。

いずれの年も箱育苗した約20日齢の稚苗を5月中旬に実験区に移植した。代掻き区はいずれの年も機械植えにて移植した。不耕起区は、1997年～2000年では手植えにて、2001年は機械植えにて移植を行っ

た。株密度は、16.7株/m²、株あたり植え付け本数は3本とし、代掻き区も移植後の間引き、補植により株当たり3本に調整した。基肥は移植5～7日前に、化成肥料(磷加安42号(14:14:14);全農)を用いてN, P₂O, K₂Oの成分で各4 g/m²を、不耕起区は表面施肥, 代掻き区は全層施肥した。追肥は、出穂前約20日および出穂後約10日に化成肥料(NK化成2号(16:0:16);全農)をN, K₂Oの成分でそれぞれ2 g/m²を表面施肥した。除草剤として、移植3週間前にグリホサート・イソプロピ

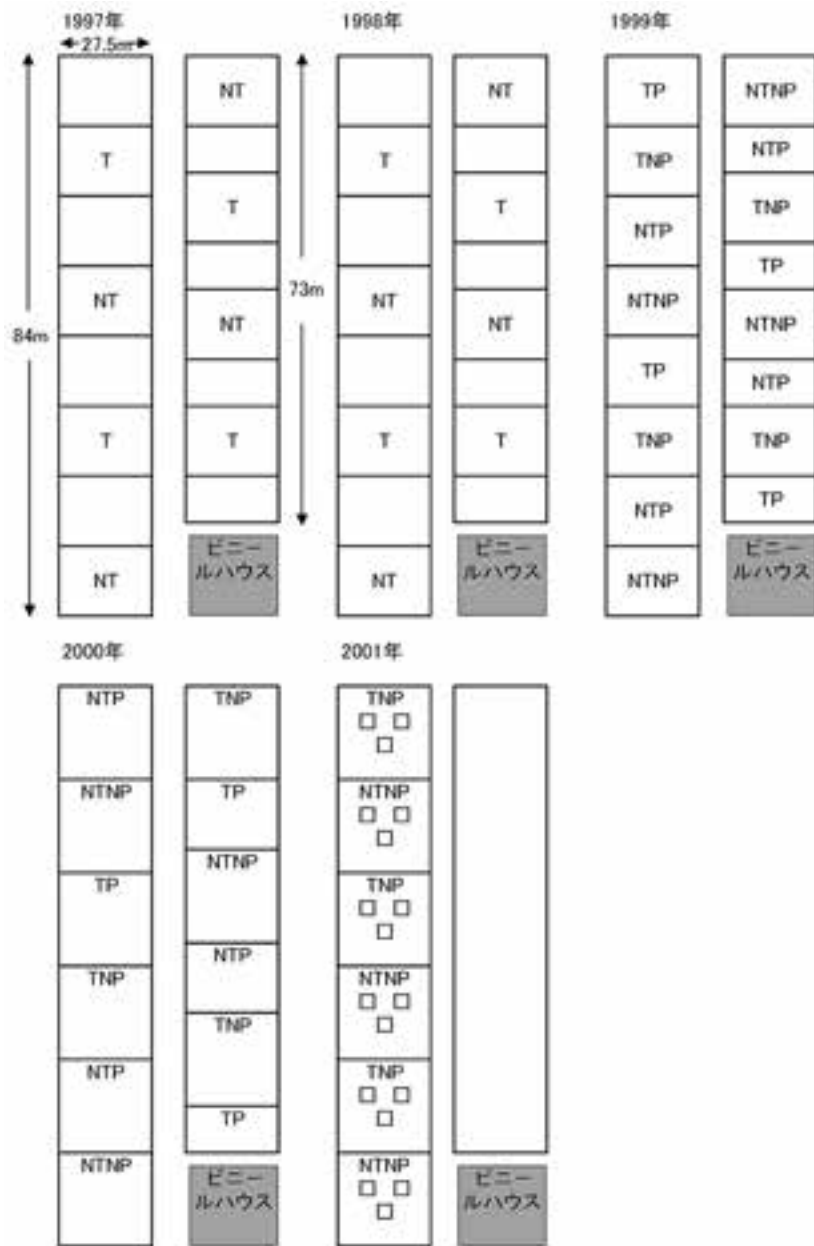


図2.1 試験圃場図

1997年～1998年 (NT: 不耕起区, T: 代掻き区), 1999年～2001年 (NTNP: 不耕起・殺菌剤無施用区, NTP: 不耕起・殺菌剤施用区, TNP: 代掻き・殺菌剤無施用区, TP: 代掻き・殺菌剤施用区)。なお、2001年の□ (9 m²) は殺菌剤施用区。

表2.1 調査期間中の気温, 降水量^{a)}の経過

年次	月	平均気温 (°C)	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	降水量 (mm)
1997年	5月	18.2	31.2	7.3	187.0
	6月	21.9	34.5	13.0	177.0
	7月	26.0	38.6	18.6	124.0
	8月	26.5	35.5	17.6	102.0
	9月	21.8	33.7	11.2	239.0
	10月	16.9	26.5	4.8	23.0
1998年	5月	19.8	29.6	10.0	174.0
	6月	20.9	33.0	12.2	177.0
	7月	24.8	36.6	17.2	229.0
	8月	26.5	35.7	19.8	303.0
	9月	23.6	32.9	17.2	300.0
	10月	18.8	32.2	9.6	190.0
1999年	5月	19.0	30.9	7.6	101.0
	6月	22.2	34.0	13.5	139.0
	7月	25.5	34.9	16.4	239.0
	8月	27.7	34.7	23.2	348.0
	9月	25.1	35.1	17.1	145.0
	10月	18.1	29.1	7.2	95.0
2000年	5月	19.1	29.1	10.4	51.0
	6月	21.6	30.8	15.6	194.0
	7月	26.9	35.8	19.4	242.0
	8月	27.3	33.8	21.7	59.0
	9月	24.0	37.4	13.8	378.0
	10月	17.2	29.2	7.8	136.0
2001年	5月	18.5	27.8	6.8	189.0
	6月	22.4	32.0	15.3	96.0
	7月	27.9	38.0	19.7	25.0
	8月	25.8	37.5	19.1	243.0
	9月	21.9	30.9	9.0	269.0
	10月	17.0	27.9	7.9	278.0

a) 観測地点は東京農工大学フィールドサイエンスセンター・FM 本町。

ルアミン塩液剤（ラウンドアップ；日本モンサント）を，移植10日後にエスプロカルブ・ジメタメトリン・ピラゾスルフロンエチル・プレチラクロール粒剤（スパークスター粒剤；日産化学工業）を施用した。紋枯病防除を目的にバリダマイシン A 液剤（バリダシン液剤；北興化学）1,000倍液0.2 L/m²を，1997年および1998年では圃場全面に，1999年および2000年では殺菌剤施用区に，2001年では各プロットの3ヶ所設定にした殺菌剤施用域（9 m²）に散布した。いずれの年も7月下旬に行った。また，水田は栽培期間中常時湛水とした。

2. 生育経過

各処理区における水稻の生育経過を調査するために，各処理区において1997年～1999年の移植後2週目から7日おきに連続する10株を2ヶ所ずつ選び，草丈，茎数，葉身の緑色程度（SPAD 値）を測定した。SPAD 値は，グリーンメーター（SPAD 502；ミノルタ社製）を用いて主茎の展開完了した最上位の葉より1枚下の葉において測定した。1999年は8月25日，9月21日および10月4日に各調査株の主茎に着生する全葉位の SPAD 値を測定した。2000年および2001年は，移植後4週目前後から7～10日間隔で，処理区ごとに系統抽出した100株の茎数および草丈を調査した。

3. 乾物生産過程

乾物重および乾物生産過程については、1997年～1999年の3ヶ年に調査した。乾物重の測定にあたっては、3ヶ年とも、移植後約8～9週の最高分けつ期、出穂期、出穂後約3～4週の登熟中期、収穫期の各生育時期に、1プロットあたり2ヶ所を無作為に選び、それぞれ連続する20株の茎数を数え、平均的な茎数を示す5株を選んで採取した。株毎に葉面積を自動面積計（AAM-7型；林電工社製）で測定した。地上部は、根を切除し、株元を丁寧に水洗した後、90℃で72時間通風乾燥して、乾物重を測定した。

4. 収量および収量構成要素

1997年～2000年において、出穂後約6～7週目に各区から3ヶ所を無作為に選び、それぞれ連続する水稲20株（約1m²）を採取し、部分刈り収量を求めた。2001年においては、殺菌剤無施用域では無作為に選んだ3ヶ所から、施用域ではそれぞれの中央付近から連続する20株を採取した。また、併せてそれぞれの地点の周辺から平均的な穂数を示す株を3株選び、収量構成要素を調査した。なお、精玄米は1.8mm目の篩で選別した。

結果

1. 生育経過

茎数

1997年～2001年の不耕起区および代掻き区における水稲の茎数の推移を図2.2に示した。

不耕起区および代掻き区の茎数の増加パターンには異なる傾向がみられた。すなわち、不耕起区では生育前期の茎数増加が代掻き区に比べて緩慢で、いずれの年次も、茎数は代掻き区に比べて少なく推移する傾向がみられた。また、代掻き区では1999年を除き、最高茎数が18～23本/株に達した後、無効茎が2～3本/株発生したのに対して、不耕起区では無効茎の発生が1本/株程度と少ない傾向がみられた。1999年は、他の年次同様代掻き区に比べて不耕起区の方が茎数は少なく推移する傾向はみられたが、両処理区とも移植後90日前後（出穂期）まで茎数は増加し続けた。出穂期の茎数（穂数）は1997年の代掻き区を除き、両処理区とも15～17本/株で大きな違いはみられなかった。

茎数に関する重複測定分散分析の結果を表2.2に示した。1997年、1998年および1999年は処理の効果は有意ではなかったが、2000年および2001年では5%水準で処理の効果が有意であった。また、いずれの年次も、処理と調査日の間には1%水準で有意な交互作用が認められた。そこで、各年次の茎数に

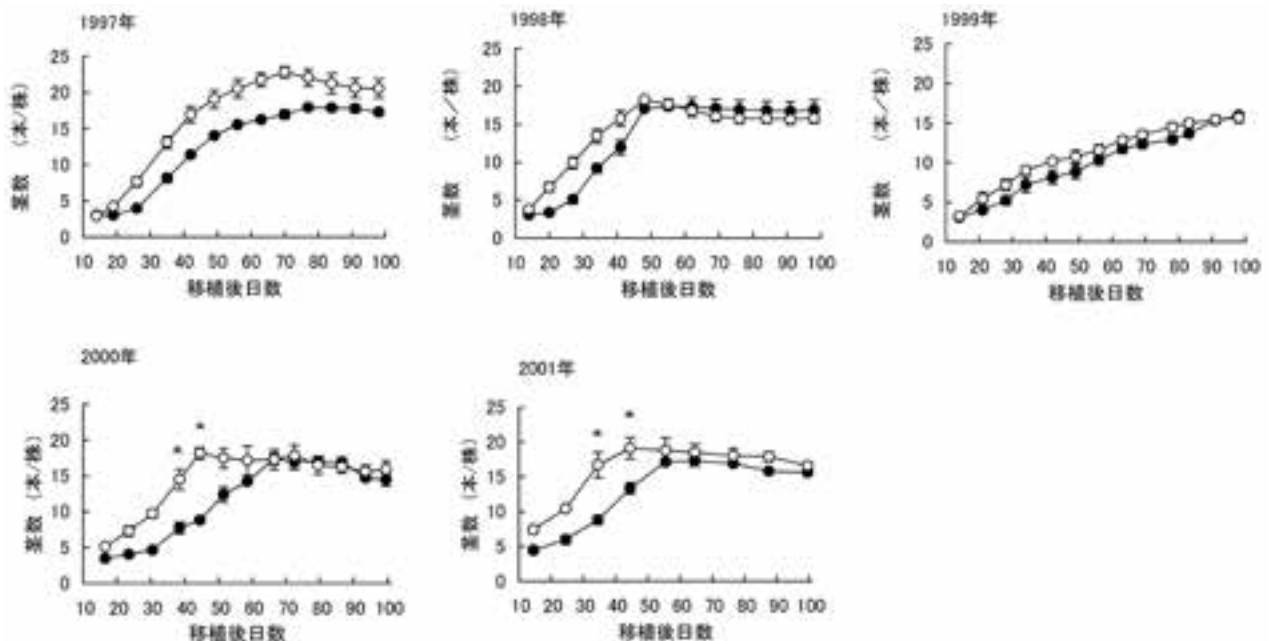


図2.2 調査期間中の各処理区における水稲の茎数の推移

●は不耕起区、○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を、*は処理区間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

ついて調査日ごとに多重比較検定 (Bonferroni/Dunn 法) を行ったところ, 2000年の移植後38日目および44日目, 2001年の移植後34日目および44日目にそれぞれ処理間に5%水準で有意な違いが認められた。

草丈

1997年~2001年の不耕起区および代掻き区における水稻の草丈の推移を図2.3に示した。

移植後70~80日目までは, 不耕起区の草丈は代掻き区のそれに比べて低い傾向がみられたが, 出穂期には, 1999年を除き, 草丈は両処理区でほぼ同じ値となった。1999年では, 移植後30日目以降, 不耕起区の草丈は代掻き区に比べて低く推移した。

草丈に関する重複測定分散分析の結果を表2.3に示した。いずれの年次も処理の効果は5%水準で有意であった。また, 2000年を除き, 処理と調査日の

表2.2 分散分析表：水稻の茎数に対する不耕起処理の効果

年次		自由度	F 値	p 値
1997	処理	1	5.306	0.061
	調査日	12	218.604	<0.01
	交互作用	12	3.856	<0.01
1998	処理	1	0.299	0.604
	調査日	15	75.207	<0.01
	交互作用	15	4.221	<0.01
1999	処理	1	4.031	0.091
	調査日	12	93.199	<0.01
	交互作用	12	3.202	<0.01
2000	処理	1	7.961	0.048
	調査日	13	69.636	<0.01
	交互作用	13	7.858	<0.01
2001	処理	1	8.471	0.044
	調査日	8	117.211	<0.01
	交互作用	8	8.650	<0.01

表2.3 分散分析表：水稻の草丈に対する不耕起処理の効果

年次		自由度	F 値	p 値
1997	処理	1	9.817	0.020
	調査日	12	2544.660	<0.01
	交互作用	12	3.594	<0.01
1998	処理	1	8.600	0.026
	調査日	15	598.528	<0.01
	交互作用	15	1.882	0.035
1999	処理	1	12.895	0.011
	調査日	12	2181.785	<0.01
	交互作用	12	3.185	<0.01
2000	処理	1	17.619	0.014
	調査日	13	1221.561	<0.01
	交互作用	13	0.958	0.500
2001	処理	1	21.335	0.010
	調査日	8	3329.373	<0.01
	交互作用	8	6.051	<0.01

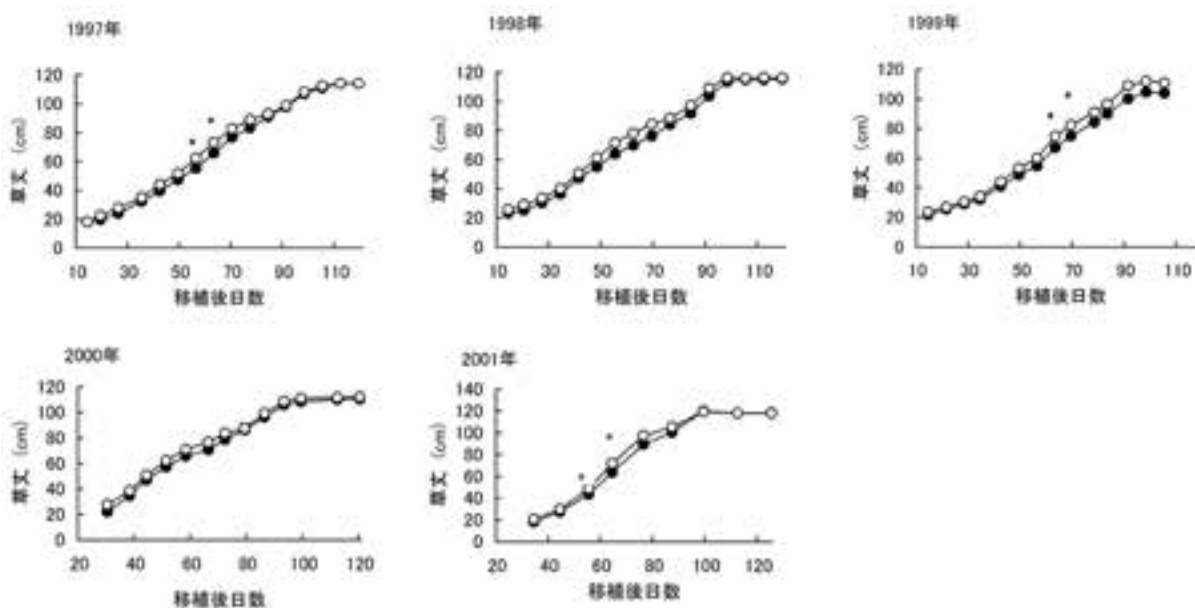


図2.3 調査期間中の各処理区における水稻の草丈の推移

●は不耕起区, ○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を, *は処理区間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

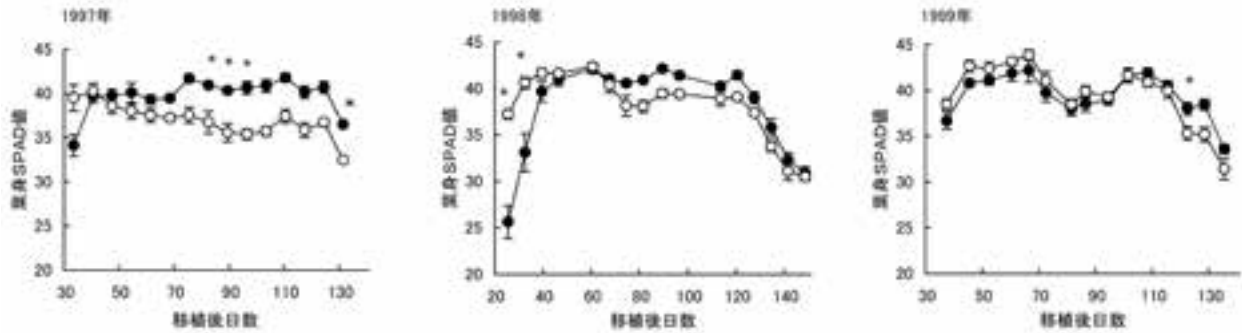


図2.4 調査期間中の各処理区における水稲葉身の SPAD 値の推移

●は不耕起区, ○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を, *は処理区間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

間には有意な交互作用が認められた。そこで、各年次の草丈について調査日ごとに多重比較検定 (Bonferroni/Dunn 法) を行った結果、1997年では移植後56日目および63日目、1999年では移植後63日目および69日目、2001年では移植後55日目および64日目にそれぞれ処理間に5%水準で有意差が認められた。

葉身の SPAD 値

1997年～1999年の不耕起区および代掻き区における水稲葉身の緑色程度を表す SPAD 値の推移を図2.4に示した。

1997年および1998年では、それぞれ移植後40日目および移植後60日目までの間、不耕起区の SPAD 値は代掻き区のそれに比べて低く推移したが、それ以降において SPAD 値は、代掻き区に比べて不耕起区の方が高く推移した。1999年では、移植後100日目前後まで、不耕起区の SPAD 値は代掻き区のそれに比べて若干低く推移したが、その後 SPAD 値は、不耕起区の方が代掻き区に比べて高く推移した。

SPAD 値に関する重複測定分散分析の結果を表2.4に示した。1997年および1999年は処理の効果が5%水準で有意であった。また、各年次とも処理と調査日との間には1%水準で有意な交互作用が認められた。そこで、各年次の SPAD 値について、調査日ごとに多重比較検定 (Bonferroni/Dunn 法) を行った結果、1997年では移植後82日目、89日目、96日目および131日目に、1998年では移植後25日目および32日目に、1999年では移植後122日目にそれぞれ5%水準で有意な差が認められた。

2. 乾物生産過程

表2.5に1997年から1999年の各生育段階における地上部乾物重を示した。地上部乾物重はいずれの年

表2.4 分散分析表：水稲の葉色 (SPAD 値) に対する不耕起処理の効果

年次		自由度	F 値	p 値
1997	処理	1	30.679	0.001
	調査日	15	97.829	<0.01
	交互作用	15	2.499	0.004
1998	処理	1	0.102	0.760
	調査日	15	32.726	<0.01
	交互作用	15	6.953	<0.01
1999	処理	1	6.264	0.046
	調査日	15	45.838	<0.01
	交互作用	15	7.217	<0.01

も、分けつ期から登熟中期の期間では不耕起区が代掻き区に比べて小さく、1999年の分けつ期および出穂期を除き、5%水準で両処理区間に有意差が認められた。しかし、収穫期における地上部乾物重は、いずれの年も両区間に有意差は認められなかった。両区の乾物重の相違を成長解析法により解析した。表2.6に3ヶ年の各生育段階における個体群生長速度 (CGR)、純同化率 (NAR)、平均葉面積指数 (LAI) をまとめて示した。一部を除いて、3ヶ年ともほぼ同様の傾向を示した。すなわち、CGR は出穂期あるいは登熟中期までは、不耕起区が代掻き区に比べて小さい傾向がみられたが、逆に、登熟中期以後は不耕起区が大きくなった。LAI は、登熟中期までは代掻き区に比べて不耕起区が小さく推移し、NAR は LAI の大きかった代掻き区が、1999年の出穂期から登熟中期の期間を除いて小さかった。また、1999年は登熟中期以後、不耕起区は代掻き区に比べて LAI は小さかったが、NAR が大きく、このことによって前者の CGR が大きくなった。

3. 収量および収量構成要素

1997年から1999年の各処理区における部分刈り収量および収量構成要素を表2.7に示した。1穂粉数、m²当たり粉数、登熟歩合、収量および部分刈り収量においては、調査した3ヶ年とも、不耕起区と代掻き区の間で有意な差が認められなかった。一

方、m²当たり穂数は、1997年では、代掻き区に比べて不耕起区が有意に少なかったが、1998年および1999年では、両処理区間で有意な差が認められなかった。また、1997年および1998年における不耕起区の千粒重は、代掻き区のそれに比べて有意に大きかった。

表2.5 不耕起・無代掻き区（不耕起）と耕起・代掻き区（代掻き）の水稻における各生育段階の地上部乾物重

年	区	地上部乾物重 (gm ⁻²)			
		I	II	III	IV
1997	不耕起	170.9±12.8*	811.5± 9.0*	1248.0± 32.4*	1551.6±108.6 ^{NS}
	代掻き	266.8±25.2	1105.1± 76.2	1497.1± 31.6	1671.7±115.4
1998	不耕起	182.3±41.7*	845.4±124.0*	1052.8±111.1*	1385.9±101.1 ^{NS}
	代掻き	415.1±29.0	1021.6± 40.8	1252.3± 40.0	1415.4± 66.4
1999	不耕起	194.8±22.0 ^{NS}	669.7± 19.7 ^{NS}	984.8± 85.9*	1122.1± 93.8 ^{NS}
	代掻き	219.6±22.7	701.8± 16.3	1150.3±45.9	1182.2± 43.8

I, II, III, IVはそれぞれ最高分けつ期（移植後8～9週）、出穂期、登熟中期（出穂後3～4週）、収穫期を示す（表2.6も同様）。平均値±標準誤差（1997年はn=3、1998年、1999年はn=4）。*は5%水準で有意差があることを示し、NSは有意差がないことを示す。

表2.6 不耕起・無代掻き区（不耕起）と耕起・代掻き区（代掻き）の個体群生長速度（CGR）、純同化率（NAR）および平均葉面積指数（LAI）

年	区	CGR			NAR			LAI		
		I～II	II～III	III～IV	I～II	II～III	III～IV	I～II	II～III	III～IV
1997年	不耕起	15.60	16.24	12.65	5.59	3.91	—	2.79	4.16	—
	代掻き	20.17	12.95	7.28	5.70	2.53	—	3.54	5.12	—
1998年	不耕起	16.58	10.91	12.81	6.52	4.26	—	2.54	2.56	—
	代掻き	15.16	12.15	6.27	4.07	2.83	—	3.72	4.29	—
1999年	不耕起	20.65	10.87	6.24	6.19	2.70	2.56	3.33	4.02	2.44
	代掻き	20.97	15.46	1.45	5.76	3.45	0.47	3.64	4.48	3.11

1997年および1998年の登熟中期～収穫期（III～IV）におけるNAR, LAIが示されていないのは、収穫期の葉面積を測定しなかったため。

表2.7 不耕起・無代掻き区（不耕起）と耕起・代掻き区（代掻き）の部分刈り収量および収量構成要素

年	区	m ² 当たり穂数	一穂粉数	m ² 当たり粉数 (×10 ³ m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (gm ⁻²)	部分刈り収量 (gm ⁻²)
1997	不耕起	291.1±6.2*	111.4±2.4 ^{NS}	32.4±0.3 ^{NS}	78.0±0.1 ^{NS}	20.5±0.1*	522.1±10.2 ^{NS}	500.7± 6.5 ^{NS}
	代掻き	346.9±7.7	99.7±1.9	34.6±1.4	78.6±0.3	19.7±0.1	536.2±26.2	524.5±48.5
1998	不耕起	237.4±5.2 ^{NS}	105.9±2.1 ^{NS}	25.2±0.8 ^{NS}	89.1±1.0 ^{NS}	22.7±0.2*	507.4±14.5 ^{NS}	545.3± 5.2 ^{NS}
	代掻き	246.8±6.6	113.1±2.6	27.9±1.2	85.0±1.8	21.4±0.2	509.0±20.6	516.2±26.8
1999	不耕起	248.8±9.8 ^{NS}	112.6±3.1 ^{NS}	28.1±1.4 ^{NS}	84.9±1.2 ^{NS}	22.0±0.2 ^{NS}	529.9±23.8 ^{NS}	488.7±17.5 ^{NS}
	代掻き	223.5±6.0	119.1±2.3	26.6±0.6	83.1±2.0	22.0±0.1	492.8±20.4	480.0±14.0

平均値±標準誤差（1997年はn=3、1998年、1999年はn=4）。千粒重および部分刈り収量は含水率14%の値。登熟歩合は精玄米数を穎花数で割って求めた。*は5%水準で有意差があることを示し、NSは有意差がないことを示す。

考 察

不耕起栽培された水稲の生育に関しては、代掻き栽培された水稲と比較して初期生育は劣るが、秋勝り的な生育をされると言われている（金田 1992；安藤 1998）。しかし、不耕起栽培水稲と代掻き栽培水稲の乾物生産過程を比較検討した報告は少ない。そこで、それぞれの方法で栽培された水稲の生育と、乾物生産の過程および乾物生産に関係するいくつかの生理的要因を比較し、不耕起栽培水稲の乾物生産過程の特徴を検討した。

生育初期（移植後30日間）の茎数および草丈は、調査を行った5ヶ年とも代掻き区に比べて不耕起区が小さく、葉身のSPAD値は、調査を行った3ヶ年とも代掻き区に比べて不耕起区が低かった（図2.2, 図2.3, 図2.4）。また、分けつ期の地上部乾物重も不耕起区が代掻き区と比べて小さかった。この結果は、従来の報告（金田 1992；高橋 1993；安藤 1998）と一致しており、不耕起水田で栽培された水稲の初期生育は、代掻きした水田に栽培された水稲に比べ劣ると言える。その原因については、有機態窒素の無機化量が代掻き土壌に比べ不耕起土壌が少ないこと（金田 1997）、基肥が表層施肥されるため基肥窒素の利用効率が低いこと（金田 1992；高橋 1993）などによる窒素吸収量の低下が指摘されている。一方、安藤（1998）は、不耕起・無代掻き土壌では土壌硬度の影響を受けて生育初期の水稲根の伸長が抑制され、結果として窒素の吸収量が低下することを示唆している。不耕起水田におけるこのような水稲の初期生育抑制のメカニズムに関してはさらに検討を要する。

移植30日以降においては、不耕起区の水稲では茎数、草丈の増加速度が大きくなり（図2.3, 図2.4）、SPAD値が高く推移し、秋勝り的な生育を示した。このような不耕起区での秋勝り的な特徴は収量構成要素と乾物生産においても認められた。

すなわち、収量構成要素をみると、 m^2 当たり粒数は不耕起区では代掻き区に比べて若干少なかったが、千粒重は代掻き区に比べて不耕起区で有意に大きくなった。また、1999年においては、不耕起区の m^2 当たり粒数は、代掻き区のそれよりも多かったにもかかわらず、不耕起区の登熟歩合が高かった。これらのことから、不耕起栽培された水稲は代掻き栽培された水稲に比べ、生育後期に決定される収量構成要素が大きくなる傾向がみられた。このような

生育の相違は、金田（1992）、安藤ら（1998）も認めている。

不耕起区および代掻き区の乾物生産量を比較したところ、不耕起区は登熟前期あるいは中期までは代掻き区に比べてCGRが小さく、地上部乾物重は小さく推移したが（表2.5）、その後は不耕起区は代掻き区に比べてCGRが大きくなり（表2.6）、その結果、収穫期には両区の地上部乾物重はほぼ等しくなった。成長解析の結果、不耕起区の水稲は代掻き区の水稲に比較して、登熟前期あるいは中期以前のCGRが小さかったのは、LAIが小さいことにより、登熟中期以後のCGRが大きくなったのはNARが大きくなることに起因していることが明らかとなった（表2.6）。すなわち、不耕起区の水稲の秋勝り的な特徴はNARが関係していることが明らかとなった。そこで、第2節では登熟期の乾物生産過程に影響する要因について検討する。

第2節：不耕起栽培水稲および代掻き栽培水稲の生育・収量成立過程に相違をもたらす要因の解析

材料および方法

1. 群落構造および受光態勢

1999年の登熟中期（9月16日）の日没直後に不耕起区および代掻き区の各プロットから1ヶ所ずつ、隣接する4株を選び、地際から10 cmごとに株間および条間の2方向から相対照度計を用いて群落内の相対照度を測定した。それぞれの方向から測定した値の平均値を各層位の相対照度とした。

相対照度を測定した翌日（9月17日）、照度を測定した4株を地際から10 cmの層別に、葉、茎、穂および枯葉の各部位ごとに分けて切り取り、乾物重を測定した。なお、葉は自動面積計（AAM-7型；林電工社製）を使って葉面積を測定した。

2. 葉身の光合成速度および窒素含有率 葉身のSPAD値および光合成速度

1999年の出穂期（8月19日）、登熟期（9月19日）および成熟期（10月9日）に、各プロットの平均的なSPAD値を示す株の主茎に着生する葉（葉身中央部の長さ34 mmの部分）の光合成速度を携帯光合成測定装置（Li-6200；Li-Cor社製）により測定した。用いた同化箱の容量は0.25 L（6000-13；Li-Cor社製）で、同化箱内の空気中の CO_2 濃度がほぼ350～370 $\mu L/L$ の範囲で3回連続して測定し、3回の

測定値の平均値を求めた。測定には直前まで直射光を受けている葉身を用い、測定中は同化箱に約 2,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ の人工光 (Model LA-60Me; 林時計工業社製) を照射し、あわせて装置全体をビーチパラソルの下に置き、葉温の著しい上昇を防いだ。

窒素含有率

1999年の出穂期 (8月16日)、登熟期 (9月14日) および収穫期 (9月29日) に、各プロットより平均的な穂数を示す4株を選び、それぞれの株の主茎に着生する葉身を葉位別に採取し、90°Cで通風乾燥した後、ウイレー型粉碎機 (1029-B; 吉田製作所製) で粉碎した。窒素含有率 (乾物重当たり) はNCアナライザー (NC-80AUTO; 住友化学工業製) を用いて測定した。

3. 出液速度およびサイトカニン活性

木部液の出液速度と窒素含量

1999年8月22日~23日、9月9日~10日および9月29日~30日に、各プロットより平均的な穂数を示す4株を選び、地面から13 cmの位置で茎と葉鞘を切断し、切り口から出てくる木部液を脱脂綿で採集した。木部液の採取は17時30分から翌朝8時30分の15時間とし、切り口につける前と採取後の脱脂綿の重量差を出液量とした。なお、出液採取中は脱脂綿をポリエチレン袋で覆ったので、大気との水分の交換によって生じる脱脂綿の重量変化は極めて小さかった。木部液はケルダールガンニング変法で分解した後、インドフェノール法により全窒素量を定量した。

出液中のサイトカニン濃度および活性

脱脂綿に集めた木部液は0.1%酢酸を含む80%エタノールで抽出した。この抽出液を減圧濃縮後、Sep-pak C18カートリッジ (Millipore製) で精製し、*Amaranthus tricolor* を用いた *Amaranthus* 生物検定法 (Biddington and Thomas 1973) でサイトカニン濃度を定量し、Soejima *et al.* (1995) にならって出液速度とサイトカニン濃度の積を木部液のサイトカニン活性として表した。

結果

1. 群落構造および受光態勢

1999年の登熟中期 (9月16日) における代掻き区および不耕起区の水稲群落の生産構造図を図2.5に示した。不耕起区では代掻き区に比べて地際70 cmより上に分布する同化器官および非同化器官の乾物重が若干小さい傾向がみられたが、両処理区の群落

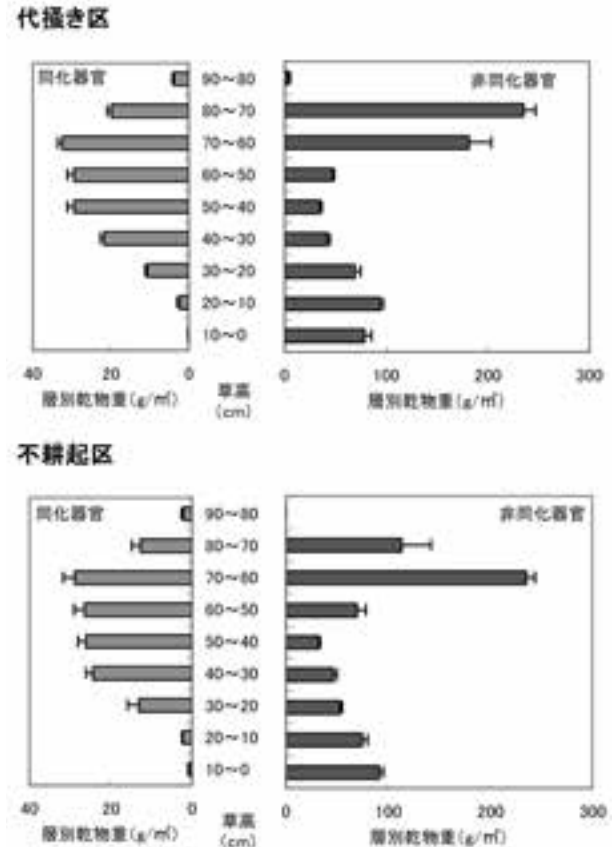


図2.5 各処理区の水稲群落の生産構造図

構造に大きな相違は認められなかった。

また、積算葉面積示数および群落内相対照度の関係 (図2.6) から求めた吸光係数は代掻き区および不耕起区でそれぞれ0.25~0.30および0.24~0.27と、若干、不耕起区の方が低い傾向はみられたが、有意差は認められなかった。

2. 葉身の光合成速度および窒素含有率

葉身の SPAD 値および光合成速度

1999年の登熟期間中における両処理区の水稲上位4葉の SPAD 値を図2.7に示した、登熟前期の8月25日における SPAD 値には、いずれの葉位も区間に相違がなかった。しかし、登熟中期の9月21日には、代掻き区に比べ不耕起区の SPAD 値がいずれの葉位においても有意に高くなり、登熟後期の10月4日には両区の差は一層拡大した。

図2.8に登熟期間中における両区の水稲の止葉および止葉の2枚下の葉 (Ⅲ葉) の光合成速度を示した。止葉の光合成速度は、登熟前期では、両処理区間で有意差が認められなかったが、登熟中期の9月19日および登熟後期の10月9日では、不耕起区の方が有意に高かった。Ⅲ葉の光合成速度は、登熟期全体を通じて不耕起区が高い傾向が認められ、特に、

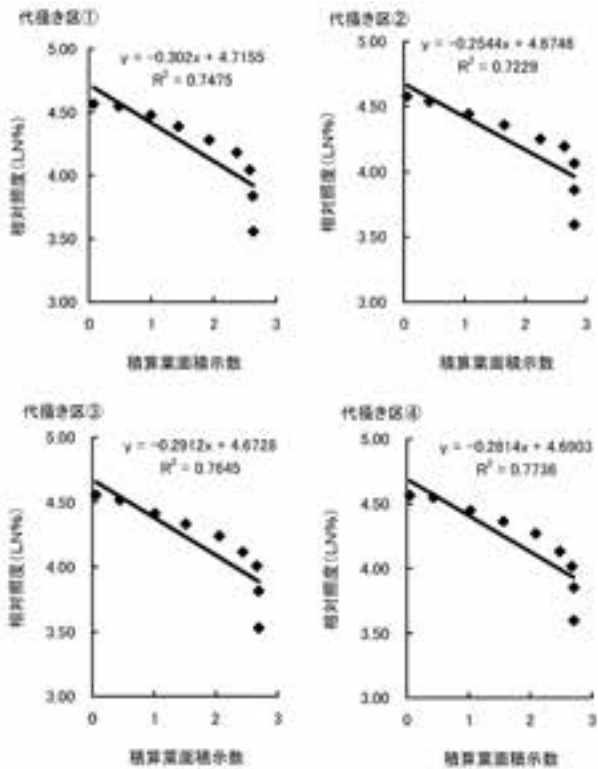


図2.6-1 代掻き区の水稲群落における積算葉面積指数と群落内相対照度との関係

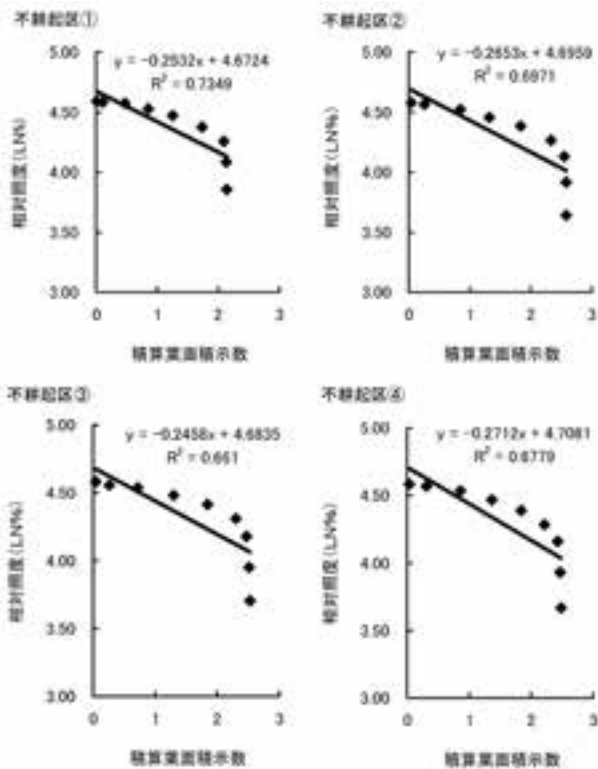


図2.6-2 不耕起区の水稲群落における積算葉面積指数と群落内相対照度との関係

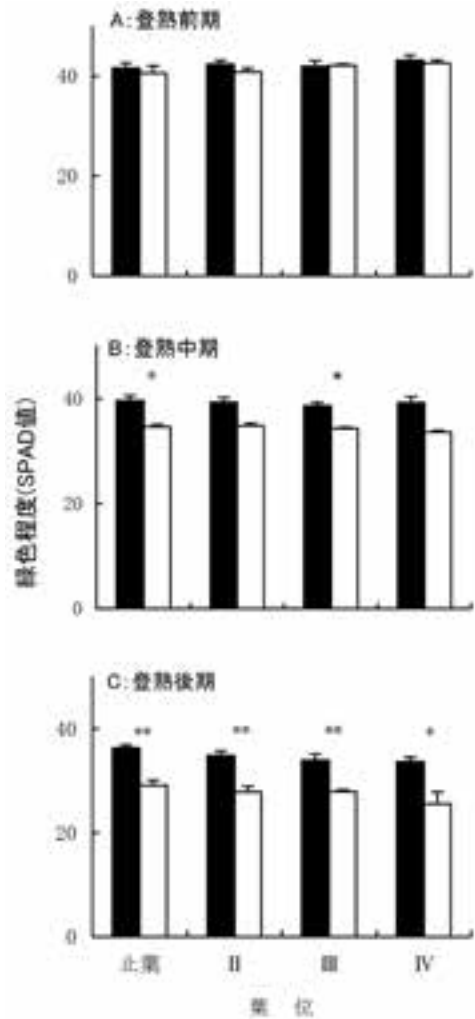


図2.7 登熟前期 (A), 中期 (B), 後期 (C) の不耕起区 (■) と代掻き区 (□) の水稲における葉身緑色程度 (1999年)

垂線は標準誤差 (n = 3) を示す。*, **は5%水準, 1%水準で処理区間に有意差があることを示す。止葉より1, 2, 3葉下の葉をそれぞれ葉位II, III, IVとした (図2.8, 図2.9も同様)。

登熟後期では代掻き区に比べて不耕起区が有意に高かった。

窒素含有率

図2.9に、1999年の登熟期間中における両処理区の水稲上位4葉の窒素含有率を示した。葉身のSPAD値および光合成速度と密接な関係にある葉身の窒素含有率は、登熟前期では両区の間は相違は明らかでなかったが、登熟中期以後は、すべての葉位で不耕起区が高い傾向が認められ、特に、登熟後期には止葉を除くすべての葉で、不耕起区が有意に高くなった。

3. 出液速度およびサイトカニン活性 木部液の出液速度と窒素含量

表2.8に1999年における登熟前期（8月22日～23日）、中期（9月9日～10日）、後期（9月29日～30日）における両区の木部液の出液速度および全窒素濃度と全窒素量を示した。出液速度は登熟に伴って減少したが、いずれの時期も代掻き区に比べ不耕起

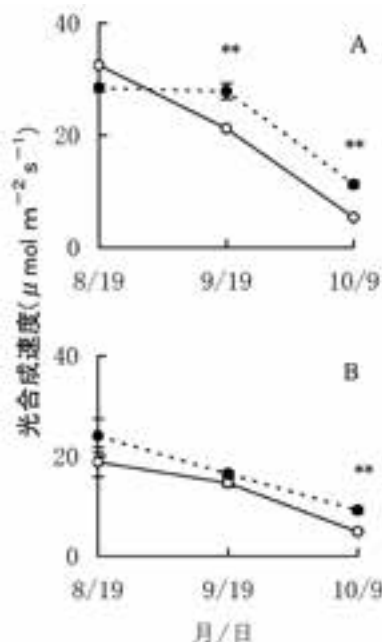


図2.8 不耕起区 (●) および代掻き区 (○) の水稲における止葉 (A)、III葉 (止葉の2枚下の葉) (B) の光合成速度 (1999年)

光合成速度は葉身の中央部をCO₂濃度350~370 μL L⁻¹、光強度2,000 μmol/m²s (人工光) の条件下で午前中に測定した。垂線は標準誤差 (n = 4) を、**は1%水準で処理区間に有意差があることを示す。

区で高い傾向が認められ、登熟後期では両処理区間で有意差が認められた。また、登熟前期から後期にかけての出液速度の低下率は代掻き区 (24.2%) に

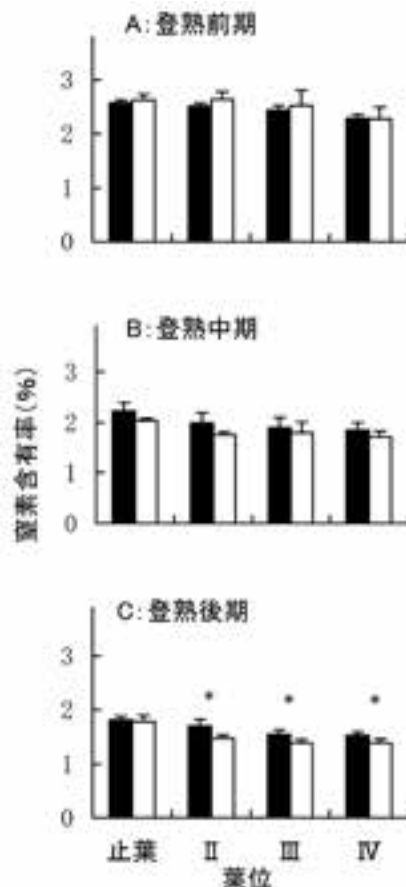


図2.9 登熟前期 (A)、中期 (B)、後期 (C) の不耕起区 (■) と代掻き区 (□) の水稲葉身における窒素含有率 (1999年)
垂線は標準誤差 (n = 4) を、*は5%水準で処理区間に有意差があることを示す。

表2.8 不耕起区と代掻き区の水稲における株当たり木部液の出液速度および全窒素濃度と全窒素量[#] (1999年)

月 日	区	出液速度 (mL 15 h ⁻¹)	全窒素濃度 (μg mL ⁻¹)	全窒素量 (μg 15 h ⁻¹)
8月22日～8月23日	不耕起	14.8±1.2	6.2±0.2	89.2±7.3
	代掻き	13.2±0.2	6.2±0.1	81.2±1.9
9月9日～9月10日	不耕起	14.6±1.6	6.6±0.5	95.5±5.4**
	代掻き	13.0±1.3	5.8±0.9	74.7±5.7
9月29日～9月30日	不耕起	12.7±0.3**	6.9±1.0	88.3±14.1
	代掻き	10.0±0.6	7.2±0.7	71.7±10.2

; 1株当たりの平均値±標準誤差 (n = 4)。出液は地表から13 cmの位置で茎と葉鞘を切断し、切り口からの出液を夜間採取し、測定に供した。

全窒素量 = (出液速度) × (全窒素濃度)

**は1%水準で処理区間に有意差があることを示す。

表2.9 不耕起と代掻き区の水稲における出液中のサイトカニン活性[#]（1999年）

月 日	区	出液量 (mL 15 h ⁻¹)	濃度 (nM) (nM BA eq. L ⁻¹)	サイトカニン活性 (pM BA eq. 15 ⁻¹)
8月22日～8月23日	不耕起	14.8±1.2	27.4±5.4	407.1± 80.7
	代掻き	13.2±0.2	33.0±2.9	435.5± 38.7
9月9日～9月10日	不耕起	14.6±1.6	22.1±3.5	347.7± 55.7
	代掻き	13.0±1.3	20.6±4.4	280.1± 60.1
9月29日～9月30日	不耕起	12.7±0.3**	55.1±9.6	654.6±121.2
	代掻き	10.0±0.6	55.9±8.0	591.2± 85.0

#；1株当たりの平均値±標準誤差（n=4）。

サイトカニン活性（pM BA eq. 15 h⁻¹）=出液速度×サイトカニン濃度

**は1%水準で処理区間に有意差があることを示す。

比べて不耕起区（14.2%）で小さかった。木部液中の全窒素濃度は、両処理区間で有意差がみられなかったものの、夜間に地上部に送られる全窒素量（出液速度と全窒素濃度の積）はいずれの時期も、代掻き区に比べて不耕起区の方が高い傾向があり、特に登熟中期には有意差が認められた。

出液中のサイトカニン濃度および活性

表2.9に、登熟期間中における出液中のサイトカニン濃度およびその活性についてまとめて示した。

8月22日、23日の登熟前期においては、サイトカニンの濃度および活性は代掻き区に比べて不耕起区で低い傾向にあった。しかし、9月9日、10日の登熟中期および9月29日、30日の登熟後期においてはサイトカニンの活性は、代掻き区に比べて不耕起区の方が高い傾向がみられた。

考 察

本章第1節で述べたように、不耕起栽培された水稲の秋勝りの生育は、登熟期間中の高いNARによってもたらされていると考えられた。NARに影響する要因として、個体群構造と吸光係数に代表される受光態勢および個体群を構成する各葉身の光合成速度があげられる。そこで、1999年の登熟期間に、これらの要因について比較検討した。個体群の受光態勢に関しては、不耕起区の水稲群落では、代掻き区に比べて上層の同化器官および非同化器官の乾物重が若干小さい傾向がみられた。しかし、吸光係数はいずれの処理区も0.25～0.30前後と低く、両処理区間で有意な相違は認められず、両区の個体群の受光態勢に明確な相違はみられなかった。しかし、今回解析を行ったのが登熟中期の1回のみで

あったこと、両処理区とも、葉面積示数（LAI）が2.5～3.0と小さかったことなどから、今後さらに、生育後期全体にわたる検討を要する。

一方、個葉の光合成速度に関しては、登熟中期以降、測定を行った止葉およびⅢ葉で、代掻き区に比べて不耕起区の方が光合成速度は高かった（図2.8）。葉身のクロロフィル含量や光合成速度と密接な関係のあるSPAD値も、登熟中期以降、いずれの葉位においても代掻き区に比べて不耕起区が高く、また、葉身の窒素含有率は、登熟中期から後期におけるほとんどすべての葉位で不耕起区が代掻き区に比べて高かった（図2.7、図2.9）。葉身の窒素含有率と光合成速度の間には高い正の相関関係があるので（石原ら 1979）、不耕起区の水稲は登熟期間中、代掻き区の水稲に比べて、葉身の窒素含有量が強く維持されることにより、光合成速度も高く保たれていたと考えられた。

不耕起区の水稲は代掻き区の水稲に比較して登熟期間中の出液速度が大きく、また、この期間における出液速度の低下程度も小さい傾向が認められた（表2.8）。このことから、前者は後者に比較して根の生理的活性が高く維持されていることが推察された。このように根の生理的活性が高い不耕起区の水稲では、木部液中の全窒素量が高い傾向にあったことから（表2.8）、不耕起区の水稲は登熟期の窒素吸収量が多いことが推察され、このことによって登熟中期から収穫期の間の葉身の窒素含有量が強く維持されたと考えられた。さらに、根の生理的活性の高かった不耕起区の水稲では、木部液中のサイトカニン活性も高い傾向があり（表2.9）、このことも窒素吸収とあわせて老化過程の光合成速度の維持に関与している可能性がある（大川ら 1999；Ookawa *et*

al. 2003; Soejima *et al.* 1995)。

生育後期において不耕起栽培水稲が代掻き栽培水稲に比較して根の生理的活性や窒素吸収量が高く維持されていることについては、不耕起栽培水稲の根の活性が高いこと (人見 1976; 野々山 1981; 金田 1992), あるいは表層の根量が不耕起栽培水稲の方が多量なこと (金田 1992; 安藤ら 1998) などの要因が考えられる。窒素吸収量が多くなると出液速度が増加し、木部液中のサイトカニン活性が高まることも報告されている (大川ら 1999)。本研究では、不耕起区と代掻き区の水稲の出液量における相違が根量の違いによるものか、あるいは、単位根量当たりの窒素吸収量 (窒素吸収活性) の違いによるものかは検討できなかった。一方、不耕起水田では土壤窒素の無機化パターンが代掻き水田と異なるとされており (野々山 1981; 高橋 1993; 金田ら 1994; 金田 1997), このような土壤からの窒素供給量の相違も水稲の窒素吸収量に影響を与えている可能性も考えられる。今後は、根量あるいは窒素吸収活性についての検討や、不耕起土壤の窒素無機化量についても併せて検討する必要がある。

以上のように、不耕起栽培した水稲と代掻き栽培した水稲の玄米収量はほぼ等しかったが、生育や乾物生産特性が両水稲の間で異なることが示された。このような不耕起栽培水稲の特徴をふまえ、初期生育を促進させる施肥法 (金田ら 1994) など、栽培法を改善すれば、収量をさらに向上させる可能性がある。しかし、不耕起栽培の特徴の一つは省力・省エネルギーにある。また、不耕起栽培に関してはすでに、メタン発生量の減少、代掻き時の落水に伴う水田からの養分の流出の軽減など、環境保全的なメリットが指摘されている。次章以降では、不耕起水田における病害虫の発生動態を代掻き水田と比較し、その特徴、薬剤使用量の低下を通じた環境負荷軽減の可能性など作物保護学的観点から検討を進める。

第3章 不耕起水田および代掻き水田におけるイネ紋枯病発生動態

前書き

イネ紋枯病 (*Thanatephorus cucumeris*) は、我が国を含むアジア各国で水稲の重要病害となっている。本病害に関しては、近年、抵抗性遺伝子の検索ならびに遺伝子導入による抵抗性品種の育成や

(Datta *et al.* 1999, 2000, 2002), 拮抗性微生物による防除の可能性が検討されている (Someya *et al.* 2003; Wiwattanapatapee *et al.* 2003; Mew *et al.* 2004)。しかし、現在に至るまで、本病害に対する実用的な耐病性品種の育成や新たな防除法の確立には至っておらず、その防除は薬剤に頼らざるを得ない状況にある。一方、耕種的な防除法については、近年の多収技術の多くが本病害の多発要因を助長することから、実現は難しいとされてきた (堀 1991)。しかし、そのような中で、乾田散播直播栽培では菌核の浮上が抑制されること (山口 1964) や、株当たり茎数が少ないことにより一次感染、二次感染が抑制されること (堀・堀内 1988) などが明らかにされており、耕種的防除法としての可能性が指摘されている (堀 1991)。

ところで、不耕起水田では、耕起あるいは代掻きによる土壤の攪乱がないことから、慣行の耕起・代掻き水田とは土壤の物理・化学構造が異なるとともに、水稲の生育パターンも変化することが知られている (長野間ら 1989; 野々山 1981)。前章で検討したように、不耕起水田で栽培された水稲は代掻き水田で栽培された水稲に比べて、初期生育は抑制され、一方、登熟期の乾物生産量が大きいという特徴があった。このような不耕起栽培水稲の特徴は、本病害の発生動態に影響を及ぼすとともに、本病害による被害程度にも影響することが予想される。しかし、これまで、不耕起水田における本病害の発生動態あるいは収量への影響に関する報告はほとんどない。

本章では、不耕起栽培水稲におけるイネ紋枯病の発病・進展過程ならびにそれらに影響する要因について慣行代掻き栽培水稲と比較する。また、不耕起栽培による本病害の耕種的防除の可能性についても検討する。

第1節：不耕起水田および代掻き水田におけるイネ紋枯病の発病、病勢進展

材料および方法

1. 圃場設定および栽培概要

試験は1999年～2001年の間、東京農工大学農学部附属農場 (現在、農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター) の水田にて行った。1999年および2000年は、2筆の水田 (22aおよび20a) に不耕起・無代掻き区 (以下、不耕起区) お

よび耕起・代掻き区（以下、代掻き区）と紋枯病対策用の薬剤バリダシン（バリダマイシン A 液剤）の施用区および無施用区を組み合わせた4処理区を設定した。同一の処理区が隣り合わないよう配置し、反復は4とした。なお、各処理区の面積は約3aとした（図3.1）。バリダシンの散布は兩年とも7月下旬に背負い式の動力噴霧器で行った。2001年においては、1筆の水田（22a）に、不耕起区および代掻き区の2処理区を3反復で配置した。各処理区の面積は3.7aとした。さらに、それぞれの処理区内に9m²（3m×3m）のバリダシン散布域を1ヶ所ずつ設けた（図3.1）。バリダシンの散布は7月下旬に行った。

供試品種として「月の光」を用いた。移植は3ヶ年とも5月中旬に20日齢の稚苗を用いて行った。1999年および2000年においては、不耕起区では手植えにて、代掻き区では機械植えにて移植した。2001年においては、不耕起区、代掻き区いずれも機械植えにて移植した。栽植密度は16.7株/m²、株当たり植え付け本数は約3本とした。基肥として移植5日～7日前に化成肥料（燐加安42号）を表層に施用し、代掻き区ではその後すぐに代掻きを行った。なお、3ヶ年とも、移植15～20日前に各処理区の境界にプラスチック製の畦畔板を埋設し（深さ約10cm）、処理区間の水の移動が起こらないようにした。

2. 紋枯病の発病、病勢進展

浮遊菌核密度の推定

各年次とも、移植2日前に各プロットの四隅および中央付近の計5ヶ所に鉄製の方形枠（25cm×25cm、高さ50cm）を置き、枠内の水面に浮遊する菌核を塵芥ごと網（1mm目）で掬い取り、風乾後個数を計数した。

水稲の茎数、発病株率、発病茎率、最上位病斑高および付着菌核数

1999年および2000年には、移植3週間後から、バリダシン無施用・不耕起区およびバリダシン無施用・代掻き区の100株を系統抽出により選び、7～10日間隔でそれぞれの株の茎数、草丈を調査した。これらの株について紋枯病の発病の有無を調査し発病株率を求めた。紋枯病の病斑が認められた株については、病斑が形成されている茎の数を計数し発病茎率を求めた。また、発病が認められた株内で最上位まで進展している病斑の地際からの高さを測定し、最上位病斑高とした。さらに、2000年には、移植3週間後から約2ヶ月間、上記の調査に加え、株元に付着している菌核数を計数した。なお、計数の際に軽く稲株をゆすり、茎部から遊離しなかった菌核も付着菌核とした。2001年には各処理区のバリダシン施用域以外の株から100株を選び、移植2週間後から前2年と同様に茎数、草丈、発病株率、発病茎率、最上位病斑高および付着菌核数を調査した。

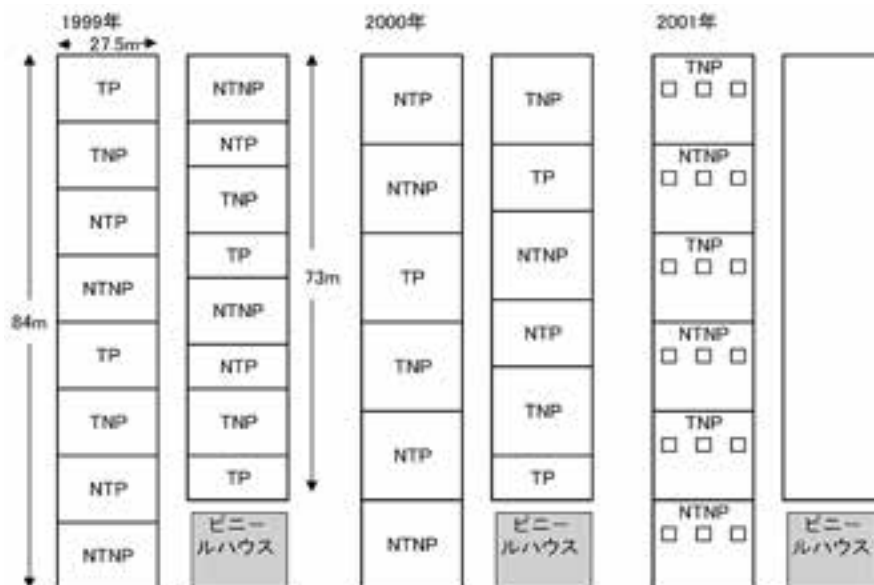


図3.1 各試験年次の圃場設定

NTNP：不耕起・バリダマイシン無散布，NTP：不耕起・バリダマイシン散布，TNP：耕起代掻き・バリダマイシン無散布，TP：耕起代掻き・バリダマイシン散布。□：2001年のみ各反復内にバリダマイシン散布域を3ヶ所設けた。

また、各株の最上位病斑高および草丈の値から病斑高率を求めた。

3. 紋枯病に対する水稻の生理的耐病性

圃場より採集した罹病株の病斑葉片を50%エタノール溶液に5分間浸漬した後、素寒天培地上にて25℃、4日間培養した。増殖した菌糸の先端部分を切り出して、予め用意したPDA培地（直径9cm）の中央に接種し、25℃で2～3日間培養した。増殖した菌糸の先端部を培地ごと直径5mmのコルクボーラで打ち抜き、接種用のディスクとした。これらのディスクを接種株の主茎の各葉位葉鞘と茎の間にはさみこみ、蒸留水を含ませたガーゼを巻きつけ、ビニールで覆って保湿した。接種後4日目に肉眼で病斑の有無を確認した。接種は2001年8月4日、8月14日および8月24日の合計3回行った。なお、接種株は不耕起区および代掻き区それぞれのバリダシン無施用区より紋枯病の発病がみられない株を各プロット3株、計9株ずつ無作為に選んだ。周囲の発病株からの菌糸の伝播を防ぐために接種株の周囲の株は刈取った。

4. 水稻群落内の微気象

1999年8月19日、8月26日、9月2日および9月9日に不耕起区および代掻き区の各1プロットの中央付近で、水稻群落内の気温および相対湿度を測定した。測定は各測定日の0時から24時まで、1時間間隔で、自動温湿度記録装置（RT-11；タバイエスベック社製）を用いて行った。なお、温湿度センサーは条間の地際から30cmの高さに設置した。

結果

1. 紋枯病の発病、病勢進展

移植前における浮上菌核密度

表3.1に各年次の移植前における両区の浮上菌核密度をまとめて示した。いずれの年次も両区間の浮上菌核密度に有意差はみられなかった。

表3.1 移植前の不耕起区および代掻き区における浮上菌核密度

年次	反復数	不耕起区	代掻き区	有意差
		(平均値±標準誤差) ^{a)}	(平均値±標準誤差) ^{a)}	
1999年	4	116.1±20.7	127.0±37.2	ns
2000年	4	131.3±39.4	99.2±14.8	ns
2001年	3	135.6±47.8	176.9±37.8	ns

a) 数値はm²あたり浮遊菌核数。

発病株率の推移

図3.2に1999年～2001年の栽培期間中の各処理区における発病株率の推移を示した。1999年は、不耕起区および代掻き区とも7月中旬まで発病株率は低く、特に不耕起区では7月23日まで5%以下で推移した。その後、両区の発病株率はほぼ同等の割合で増加し、両区間に有意差は認められなかったもの（ $p=0.051$ 、重複測定分散分析）、不耕起区は代掻き区に比べて常に10～20%低いレベルで推移した。2000年および2001年の代掻き区における発病株は、1999年に比べて20日ほど早い6月20日前後に認められた。一方、不耕起区では1999年とほぼ同じ7月上旬に発病株が初めて認められた。7月以降は、代掻き区に比べて不耕起区の発病株率が2000年および2001年でそれぞれ20～40%および15～20%低く推移した。各年次の発病株率について処理および調査回の効果を重複測定分散分析にて解析した結果を表3.2に示した。

1999年（ $p=0.051$ ）および2001年（ $p=0.097$ ）では両処理区間の発病株率に有意差はみられなかった。しかし、2000年では、両処理区間の発病株率に有意差が認められた（ $p=0.029$ ）。また、処理と調査回との交互作用も有意であった（ $p=0.001$ ）。そこで調査回ごとに発病株率についてFisherのPLSD法により多重比較検定を行ったところ、7月6日～9月13日までの全ての調査回において両処理区間に危険率5%で有意差が認められた。

発病茎率の推移

図3.3に1999年～2001年の栽培期間中の各処理区における発病茎率の推移を示した。1999年においては、両処理区とも発病茎率は8月上旬（移植後80日前後）まで10～20%前後と低いレベルで推移した。その後、不耕起区の発病茎率は代掻き区に比べて常に低い傾向がみられた。2000年および2001年では、両区の発病茎率の増加割合に相違はみられなかった。しかし、代掻き区に比べて不耕起区の発病が遅

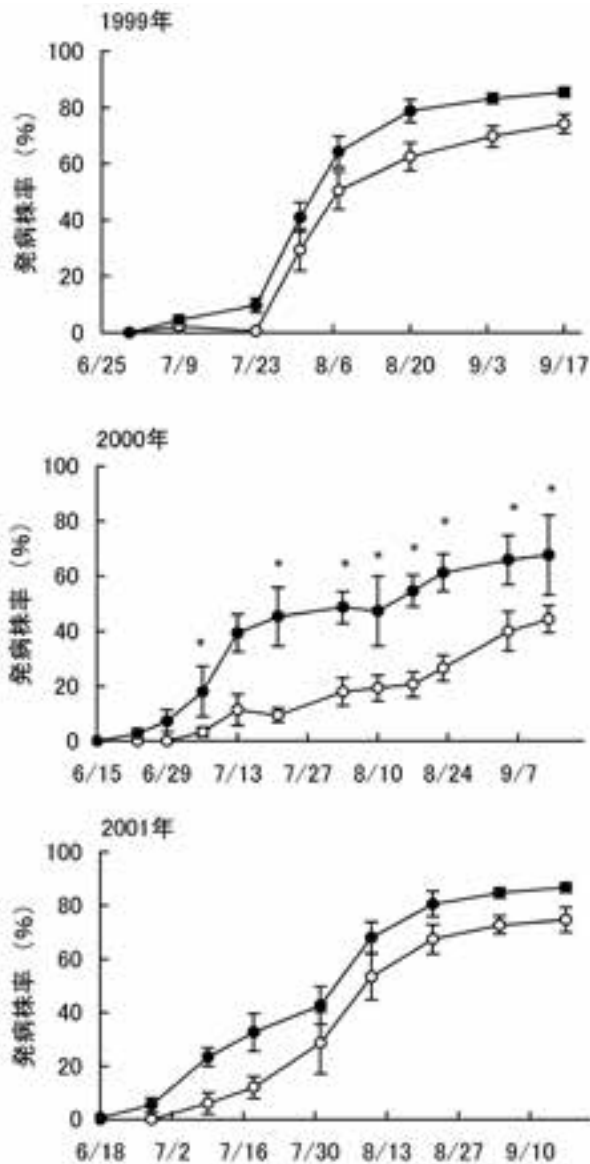


図3.2 不耕起区および代掻き区における発病株率の推移

●は不耕起区を、○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*は5%水準で有意差があることを示す（重複測定分散分析後、Fisher's PLSD 多重比較検定）。移植日は、1999年：5月20日、2000年：5月15日、2001年：5月18日。

かったことを反映して、不耕起区の発病率率は代掻き区に比べて10～25%低く推移した。各年次の発病率率について処理および調査回の効果を重複測定分散分析にて解析した結果を表3.3に示した。1999年 ($p=0.064$) および2001年 ($p=0.065$) においては、両処理区間の発病率率に有意差はみられなかった。しかし、2000年では両処理区間の発病率率に有意差が認められた ($p=0.044$)。また、処理と調査回間の交互作用も有意であった ($p<0.001$)。そこで、調査回ごとに発病率率について Fisher の PLSD

表3.2 発病株率に対する処理および調査回の効果に関する重複測定分散分析の結果

年次	要因	自由度	F 値	p 値
1999年	処理	1	5.9	0.051
	調査回	7	289.08	<0.001
	交互作用	7	1.98	0.08
2000年	処理	1	11.14	0.029
	調査回	11	32.95	<0.001
	交互作用	11	3.51	0.001
2001年	処理	1	4.63	0.098
	調査回	8	177.3	<0.001
	交互作用	8	1.48	0.204

法により多重比較検定を行ったところ、7月6日～8月23日までの全調査回において、両処理区間に危険率5%で有意差が認められた。

最上位病斑高の推移

図3.4に1999年～2001年の病斑高率の推移を示した。1999年においては両処理区とも病斑高率は8月上旬（移植後80日前後）まで20%以下で増加がみられなかった。しかし、病斑高率はその後増加し、9月上旬（移植後100日過ぎ）には、代掻き区および不耕起区でそれぞれ47%および41%に達した。また、不耕起区の病斑高率は代掻き区に比べて常に低かった。2000年および2001年においては、7月中下旬から8月上旬（移植後65日から85日前後）にかけて病斑高率は緩やかに増加し、その後、増加割合は高まった。調査終了時の病斑高率は両年とも代掻き区および不耕起区でそれぞれ60%前後および50%前後であった。また、2000年および2001年とも1999年と同様に、病斑高率は代掻き区に比べて不耕起区で低く推移した。各年次の病斑高率について、処理および調査回の効果を重複測定分散分析にて解析した結果を表3.4に示した。いずれの年も危険率5%で両処理区間の病斑高率に有意差が認められた。そこで調査回ごとに病斑高率について Fisher の PLSD 法により多重比較検定を行ったところ、1999年では、8月7日～9月4日の間の全調査回において、2000年では、7月21日、8月23日および9月13日において、2001年では、7月18日、8月10日、8月22日および9月7日において、両処理区間に危険率5%で有意差が認められた。

登熟期における被害度

1999年～2001年の各処理区における登熟中期～後期の被害度を図3.5に示した。被害度は、羽柴

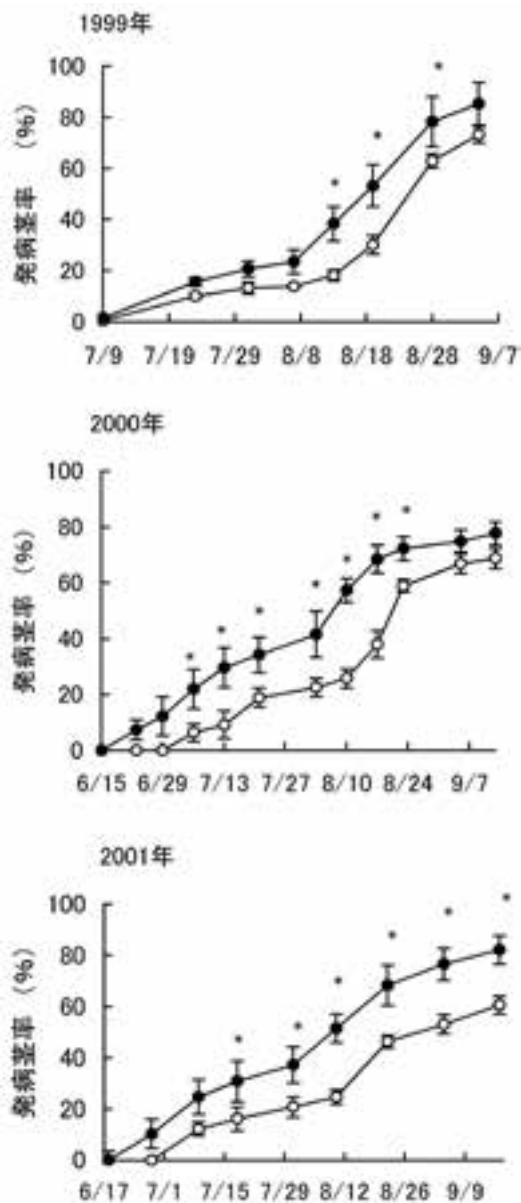


図3.3 不耕起区および代掻き区における発病率の推移

●は不耕起区を、○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*は5%水準で有意差があることを示す(重複測定分散分析後, Fisher's PLSD 多重比較検定)。移植日は, 1999年: 5月20日, 2000年: 5月15日, 2001年: 5月18日。

(1984)の方法により算出した。1999年および2001年では, 不耕起区の被害度は代掻き区のそれに比べ, それぞれ危険率5%および1%で有意に低かった(*t*-検定)。また, 2000年では, 両処理区の被害度に有意な違いはみられなかったものの, 代掻き区に比べ不耕起区の方が低い傾向がみられた。

生育前期における水稻茎部への菌核付着数の推移

図3.6に2000年, 2001年の生育前期における不耕起区および代掻き区の株あたり付着菌核数を示し

表3.3 発病率に対する処理および調査回の効果に関する重複測定分散分析の結果

年次	要因	自由度	F 値	p 値
1999年	処理	1	5.15	0.06
	調査回	7	160.85	<0.001
	交互作用	7	3.15	0.006
2000年	処理	1	8.49	0.044
	調査回	11	191.43	<0.001
	交互作用	11	5.69	<0.001
2001年	処理	1	6.35	0.065
	調査回	8	411.3	<0.001
	交互作用	8	8.7	<0.001

た。いずれの年も代掻き区では移植後20日前(6月上旬)から水稻茎部への菌核の付着が確認された。一方, 不耕起区では, 移植後30日以降(6月下旬)に菌核の付着が確認された。また, 株あたり付着菌核数は代掻き区に比べて不耕起区で常に少なく推移した。兩年次の株あたり菌核付着数について処理および調査回の効果を重複測定分散分析にて解析した結果を表3.5に示した。いずれの年次も危険率0.1%で両処理区間の菌核付着数に有意差が認められた。そこで, 調査回ごとに菌核付着数について多重比較検定を行ったところ, 2000年では移植後38日(6月23日), 44日(6月29日)および51日(7月6日), 2001年では移植後64日(7月18日)にそれぞれ危険率5%で両区間に有意差が認められた。

2. 紋枯病に対する水稻の生理的耐病性

表3.6に出穂期およびその前後の, 両処理区の水稲における各葉位葉鞘の紋枯病耐病性についての接種実験の結果を示した。発病した葉鞘の割合は, いずれの時期も上位葉鞘に比べて下位葉鞘で高い傾向がみられた。また, 同一の葉位ごとに比べると, 発病した葉鞘の割合は, 時間の経過に伴って高まる傾向がみられた。時期別にみると, 出穂前(8月7日)では, 各葉位の発病率は両処理区間で違いはみられなかった。出穂期(8月14日)では, 第2葉鞘での発病率は, 代掻き区に比べて不耕起区で有意($p < 0.05$)に低かった。出穂後(8月24日)では, 第2葉鞘および第3葉鞘の発病率は, 代掻き区に比べて不耕起区の方が低く, 第3葉鞘では危険率1%で両処理区間に有意差が認められた。

3. 水稻群落内の微気象

図3.7に1999年の登熟期における両区の群落内の気温および相対湿度をまとめて示した。8月19日お

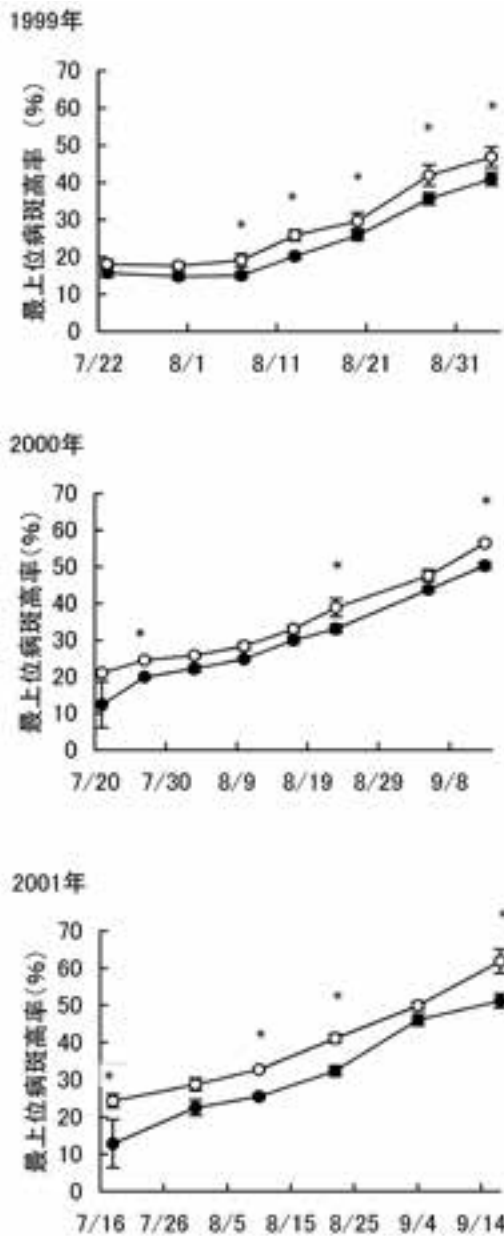


図3.4 不耕起区および代掻き区における病斑高率の推移

●は不耕起区を，○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*は5%水準で有意差があることを示す（重複測定分散分析後，Fisher's PLSD 多重比較検定）。移植日は，1999年：5月20日，2000年：5月15日，2001年：5月18日。

よび8月26日では，両区の群落内における気温および相対湿度の1日間の推移に相違はみられなかった。一方，9月2日および9月9日では，夜間は気温および相対湿度ともに両区間に相違はみられなかったが，昼間は，代掻き区に比べて不耕起区の気温は若干高く，相対湿度は若干低い傾向がみられた。

表3.4 病斑高率に対する処理および調査回の効果に関する重複測定分散分析の結果

年次	要因	自由度	F 値	p 値
1999年	処理	1	7.96	0.03
	調査回	6	141.93	<0.001
	交互作用	6	0.68	0.669
2000年	処理	1	12.27	0.025
	調査回	8	112.69	<0.001
	交互作用	8	1.02	0.439
2001年	処理	1	13.25	0.022
	調査回	5	92.47	<0.001
	交互作用	5	0.92	0.488

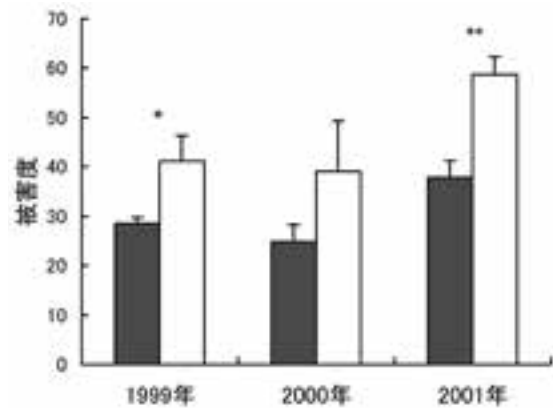


図3.5 不耕起区および代掻き区の登熟中～後期における被害率

■は不耕起区を，□は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*，**はそれぞれ5%および1%水準で処理間に有意差があることを示す（t-検定）。被害率は羽柴（1984）の方法に従い，式： $(1.62 \times \text{病斑高率} - 32) \times \text{発病株率}$ により求めた。

考 察

イネ紋枯病の一次感染源は，イネあるいは雑草などの宿主植物体上で形成され，圃場内で越冬した菌核が主要なものとされている（堀 1991）。温暖な条件になると菌核の比重は水よりも小さくなり，内部組織に水を透過させないことから（倉本・山口 1968, 1969），菌核は湛水・代掻き後，水面に浮上して，移植したイネ苗茎部に付着，侵入する。この一次感染成立には越冬菌核密度，浮上菌核密度，茎数の多少などが影響することが指摘されている（堀・安楽 1971）。

2000年および2001年の移植後2ヶ月間における株への付着菌核数は，いずれの年も代掻き区に比べて不耕起区では少なく，付着が確認された時期も不耕

起区の方が10日から2週間ほど遅かった。付着菌核数と茎数の関係に関しては、1株茎数が多く、茎の近接度が高いほど付着菌核数が多くなり(堀・安

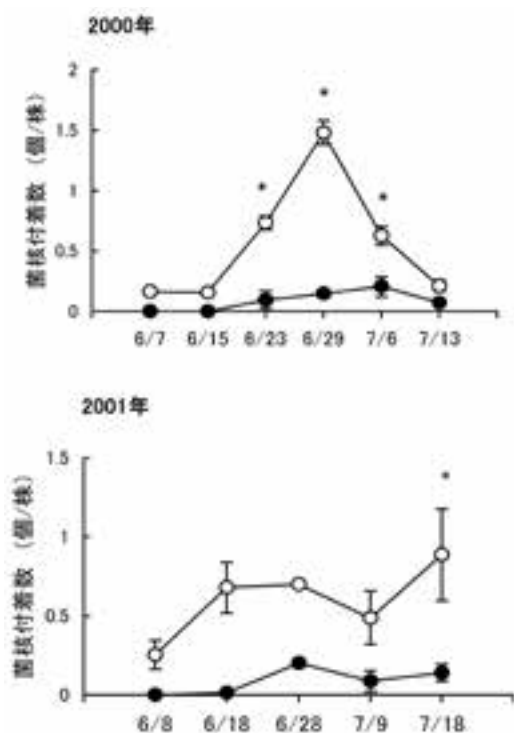


図3.6 生育初期における不耕起区および代掻き区の菌核付着数の推移

●は不耕起区を、□は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*は5%水準で処理区間に有意差があることを示す(重複測定分散分析後、Bonferroni多重比較検定)。

楽 1971, 木谷ら 1958, 高坂 1961), 茎数が10本以上に達すると菌核の茎部への付着状態が安定するとされている(堀 1991)。調査を行った3年間とも、移植後1~2ヶ月における株あたり茎数は代掻き区に比べて不耕起区の方が少なく、また、不耕起区の1株あたり茎数が10本に達した時期は、いずれの年も代掻き区より2週間程度遅かった(第2章, 図2.2)。不耕起区におけるこのような栽培前期の茎数の抑制は、不耕起土壌の硬度に起因する根の伸長抑制(安藤 1998)や土壌窒素の無機化遅延(金田ら 1994; 金田 1997)などが原因と考えられている。第2章で述べたように、1997年から行った栽培学的な調査でも同様の結果が得られており(本林ら 2004)、栽培前期における茎数抑制は不耕起栽培の特徴と考えられる。このように、不耕起区では栽培前期の株あたり茎数が代掻き区に比べて少なく推移することにより、菌核の付着数が代掻き区に比べて

表3.5 菌核付着数に対する処理および調査回の効果に関する重複測定分散分析の結果

年次	要因	自由度	F 値	p 値
2000年	処理	1	178.52	<0.001
	調査回	5	57.78	<0.001
	交互作用	5	38.18	<0.001
2001年	処理	1	78.73	<0.001
	調査回	4	2.61	0.075
	交互作用	4	1.14	0.371

表3.6 出穂期前後の不耕起区および代掻き区の水稲各葉位葉鞘における紋枯病耐病性

接種 ^{a)}	処理	発病葉鞘率 (%) ^{b)}			
		第2葉鞘 ^{c)}	第3葉鞘	第4葉鞘	第5葉鞘
1回目 (8/7)	不耕起 ^{d)}	44.4	44.4	88.9	88.9
	代掻き ^{e)}	33.3	55.6	88.9	100.0
2回目 (8/14)	不耕起	50.0	83.3	77.8	88.9
	代掻き	83.3	94.4	94.4	100.0
3回目 (8/24)	不耕起	55.6	55.6	77.8	
	代掻き	77.8	100.0		

a) 各処理18株の主茎と思われる茎の第2~第5葉鞘にPDA培地で培養した紋枯病菌糸を培地ごと接種し、4日間保湿後、調査。

b) 接種後4日目の接種葉鞘数に対する発病葉鞘数の割合。

c) 最上位葉鞘から数えた葉鞘位。

d) 不耕起・無代掻き。

e) 耕起・代掻き。

f), g) *, **はそれぞれ同一接種回および同一葉鞘内で処理間に5%および1%水準で有意差があることを示す(F検定)。

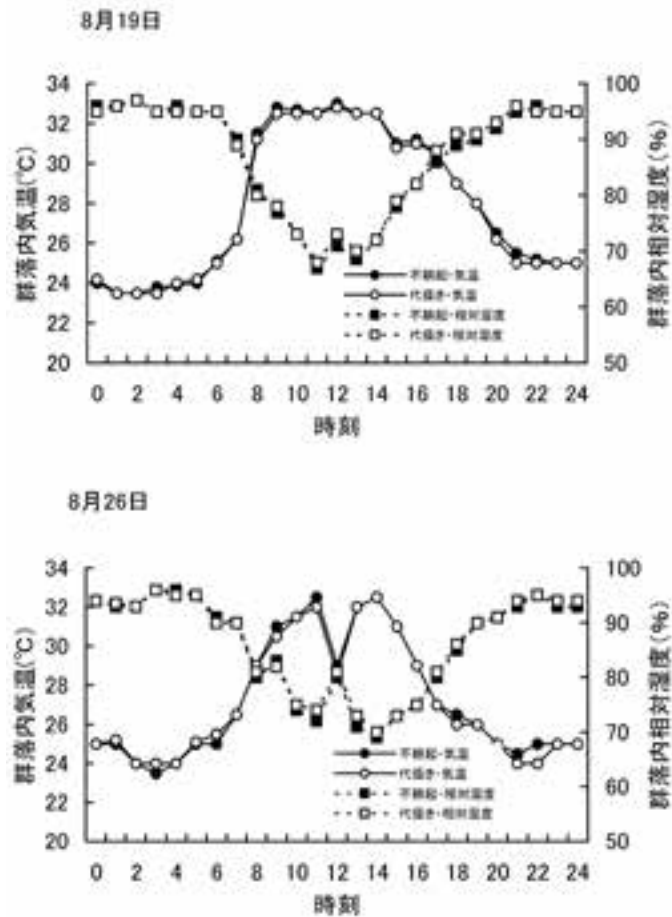


図3.7-1 登熟期の各処理区における群落内気温および相対湿度の日内変化（8月19日および8月26日）

少なくなる可能性があり、このことが一次感染を抑制した一因と推察された。

紋枯病の病斑進展は発病株、発病茎が増加する水平進展と、上位葉鞘に移行する垂直進展に分けられる（堀 1991）。まず水平進展についてであるが、発病株率および発病茎率の推移には年次間で若干の違いがみられた。すなわち、1999年では他の2年に比べて両処理区とも発病が遅く、7月下旬（移植後60日から70日頃）まで発病株率および発病茎率の増加が緩慢であった。2000年では、両処理区とも他の2年と比べて7月中下旬～8月中旬（移植後60日から90日）の間、発病株率の増加割合が低かった。1999年では、6月～7月の気象条件が不安定で低温の日が多かった。また、2000年では7月下旬～8月下旬の降雨量が他の2年に比べて著しく少なく、いずれの年次も気象条件が本病の病勢進展に影響していた可能性があると考えられた。また、1999年に関しては、1997～1998年の間のバリダマイシン散布により圃場全体の菌核量が減少し、他の2年に比べて初期の発病が遅れた可能性もある。

このように年次間で違いがみられたものの、調査を行った3ヶ年とも、発病株率および発病茎率は常に代掻き区に比べて不耕起区では低い傾向を示した。特に、病勢進展の初期段階（移植後40日から60日）では、不耕起区で発病が遅れたり、病勢の進展が緩慢だった。これは、前述のように、不耕起区では代掻き区に比べて茎数が少ないことにより一次感染が抑制されていたことが一因と考えられる。

また、株の開度が大きいほど発病しがたいと言われている（小川ら 1960；高坂 1961；Willoquet *et al.* 2000）。今回は株開度についての定量的な調査は行っていないが、不耕起区の水稲は代掻き区の水稲に比べて、特に栽培前期では株がより開帳する傾向がみられた。また、不耕起区の水稲では生育前半、葉面積指数が代掻き区に比べて低く、これらのことも発病の進展を抑制した要因と思われる。

一方、水稲茎部への菌核の付着、発病あるいは病勢の水平進展には浮上した菌核の密度も影響する。堀・安楽（1971）は浮上菌核の密度と分けつ最盛期以降の発病株率との間に高い相関があることを示し

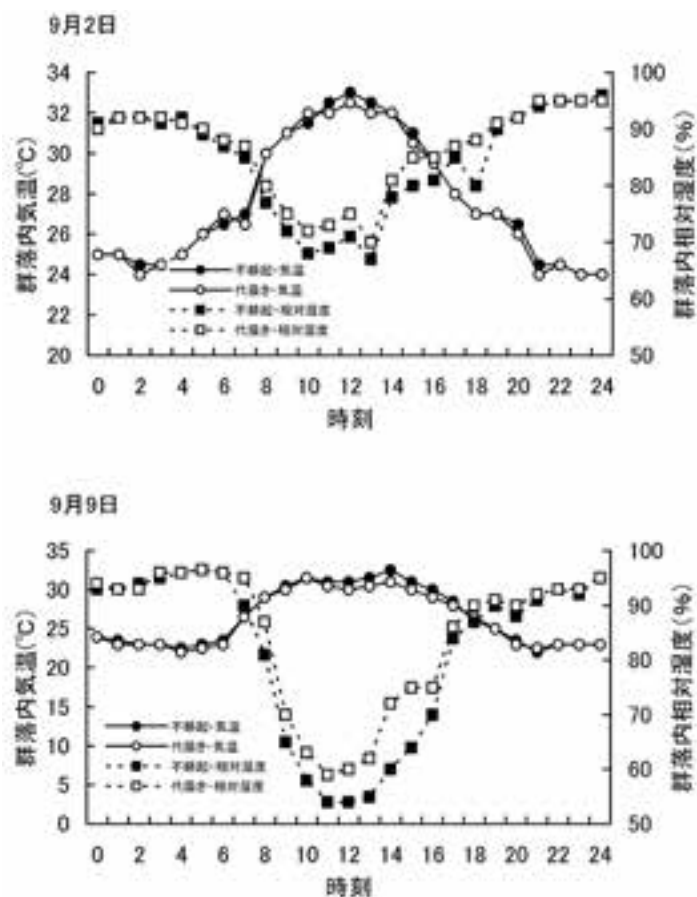


図3.7-2 登熟期の各処理区における群落内気温および相対湿度の日内変化（9月2日および9月9日）

た。また、耕起方法と菌核の浮上との関係に関しては、代掻き条件に比べて不耕起条件では浮上する菌核の量が少なくなることも示した。しかし、今回の実験では両区の浮上菌核密度に相違はみられなかった。また、浮上菌核密度と菌核付着数あるいは発病株率に関しても特に関係は認められなかった。今回、代掻き区では各プロット内の風下に、一方、不耕起区では雑草などの残渣が多い場所に浮上した菌核が塵芥ごと漂着し、分布が著しく偏っていたため、必ずしも正確に菌核密度を推定できていなかったと思われる。このため、不耕起による菌核浮上の抑制、さらには、そのことによる発病の抑制に関して明らかにはできなかった。今後は、菌核密度の推定方法も含め、不耕起水田における湛水前から水稻の生育初期における菌核の動態について検討が必要と考えられる。

次に、病斑の垂直進展については各葉位の葉身葉鞘の耐病性が制限因子となっており、耐病性は葉の抽出直後では高いが、抽出後5、6週間目から急速に低下することが知られている（高坂 1961；堀 1991）。葉鞘への本病の接種実験により、出穂期お

よびその前後の時期における両処理区の水稲の耐病性を比較したところ、両区とも、いずれの時期においても上位葉鞘の発病率は下位葉鞘に比べて低い傾向がみられた。また、同一葉位葉鞘の発病率を接種時期間で比べると、時間の経過とともに発病率が高くなる傾向がみられた。この結果は前述の高坂（1961）の報告と一致するものである。一方、処理区間で発病率を比較すると、出穂1週間前では両処理区間に違いはなかったが、出穂期および出穂10日後では上位葉鞘の発病率が代掻き区に比べて不耕起区の方が低く、耐病性が高いことが示された。第2章で示したように、出穂期以降、不耕起区の水稲は代掻き区に比べて上位葉の葉身の緑色程度が高く、光合成活性が高く維持されていた。このことは、不耕起区の水稲の老化が代掻き区に比べて遅いことを示しており、耐病性の維持と関係していると考えられる。しかし、一方で紋枯病の菌叢の生育はC/N比が6.0以下で良好となるとされている（羽柴・山口 1972）。また、稲体中の窒素濃度が高いと紋枯病に対する生理的耐病性が低下するとの報告もある（高坂 1961）。紋枯病に対する水稻の生理的耐病性のメ

カニズムそのものが未だ十分には解明されていない。また、今回の接種実験では接種株数が少なかったことから、今後、生理的耐病性のメカニズムも含めさらに検討が必要である。

ところで、病斑の水平、垂直進展には株内あるいは群落内の微気象も影響しており、特に群落のうっ閉による高湿度条件は病勢の進展を助長するとされている（高坂・孫工 1958；堀 1991）。1999年の登熟期間中に群落内の気温および相対湿度を測定したところ、出穂後2週間ほど（8月中～下旬）の間では、両区に違いはみられなかった。しかし、出穂後2週間目以降（9月上～中旬）では、昼間の群落内気温が代掻き区に比べて不耕起区が若干高く、逆に相対湿度は代掻き区の方が若干高く推移した。9月中旬に両区の水稲群落の構造および吸光係数を調査した結果、代掻き区に比べて不耕起区の群落は若干であるが、光が透過しやすい構造であった（第2章）。このことが両区における出穂後2週間目以降の群落内気温および湿度の違いの原因となっていた可能性が考えられるが、今回の調査のみでは判断できない。群落の構造とあわせて経時的に群落内の微気象について調査、検討する必要がある。

不耕起水田における紋枯病の発病、進展に関係する要因について十分に解明したわけではないが、不耕起水田では紋枯病の発病、進展が抑制される可能性が示唆された。しかし、小山ら（1998）は農家の不耕起栽培圃場における成熟期の紋枯病発病株率が慣行栽培に比較して高いこと、また、不耕起栽培の継続によって発病株率の上昇がみられることを報告している。この結果は本研究の結果とは必ずしも一致していない。小山らの報告では栽培管理方法についての詳しい記述がないため、本研究の結果との直接的な比較は困難である。しかし、不耕起栽培に取り組む農家の間では生育初期の分けつ数を慣行栽培並みに確保するために分けつ期に追肥を行う例もあり、こうした栽培条件下では、生育初期から茎数が慣行代掻き栽培と同等に推移することになり、茎数が少ないことによる菌核の付着の抑制は期待できない。さらに、不耕起区の水稲では、生育後期の窒素吸収量が代掻き区に比べて多くなっていたことから、茎数が多い場合は、生育後期に群落が過繁茂の状態になり、紋枯病の進展を助長する可能性もある。金田ら（1994）、佐藤ら（1993）は省力化や施肥効率向上の観点から、不耕起栽培での緩効性肥料の利用を推奨している。緩効性肥料は含有成分が積

算温度に反応して溶出するため、窒素に関しては土壌の地力窒素と同様の肥効を示す。このため、初期生育は代掻き栽培に比べて抑制されることから、紋枯病の抑制の観点からも推奨できる。今後、このような施肥方法も含め、不耕起栽培に取り組む農家の栽培管理方法と紋枯病の発生に関する現地での調査、検討が必要と思われる。

一方、不耕起栽培の継続が紋枯病の発生に及ぼす影響に関しては、本研究では毎年処理区の配置が変わっていたため検討することはできなかった。この問題は実用上重要であり検討する必要がある。

第2節：イネ紋枯病無防除条件下における不耕起栽培および代掻き栽培された水稲の減収程度の比較

材料および方法

収量調査

1999年および2000年の収穫期に、試験区ごとに無作為に選んだ3ヶ所で、連続する20株（4条・5株）を刈り取り、玄米収量を調査した。また、2001年は、試験区ごとに、バリダシン散布域とその周囲の無散布域で、前2年同様、20株の玄米収量を調査するとともに、収量構成要素を調査した。

結果

収量比較

表3.7に1999年、2000年および2001年の各処理区における単位面積あたり玄米収量を、また、表3.8には2001年の各処理区の収量構成要素を示した。

いずれの年も代掻き区では、バリダシン無散布区の玄米収量は散布区に比べて10.8～12.6%低く、5%水準で有意差がみられた。一方、不耕起区では、バリダシン散布区に比べて無散布区の減収率は5%以下で、それぞれの玄米収量に有意差はみられなかった。バリダシン散布区間では不耕起区と代掻き区の玄米収量は同等であった。また、バリダシン無散布区では、不耕起区に比べて代掻き区の玄米収量の方が低い傾向がみられたが、有意差はなかった。

2001年の収量構成要素をみると、生育前半に決定される1穂あたり籾数および m^2 あたり籾数には処理区間に有意な相違はみられなかったが、バリダシン無散布・代掻き区は他の処理区に比べていずれの値も若干少ない傾向がみられた。一方、生育後半に決

表3.7 耕起・代掻きの有無およびバリダマイシン施用の有無が玄米収量に及ぼす影響

処理区	玄米収量 (g/m ²) ^{a)}			
	1999年	2000年	2001年	
不耕起	バリダマイシン施用	488.7±17.50 a ^{c)}	484.8±21.69 ab	503.4± 9.38 a
	バリダマイシン無施用	454.5±12.21 ab	464.3±15.96 ab	478.6±13.70 ab
	減収率 (%) ^{b)}	7.0	4.2	4.9
代掻き	バリダシン施用	480.0±14.00 a	495.4± 5.61 a	498.0±23.03 a
	バリダシン無施用	420.7± 4.43 b	442.1±18.00 b	435.1±17.66 b
	減収率 (%)	12.4	10.8	12.6

a) 平均値±標準誤差。

b) バリダマイシン施用区での玄米収量に対するバリダマイシン無施用区での玄米収量の低下率。

c) 同一年次で、異符号間に5%水準で有意差あり (Scheffe 多重比較検定)。

表3.8 耕起・代掻きの有無およびバリダシンの施用の有無が収量構成要素に及ぼす影響

処理区	m ² あたり穂数 ^{e)}	m ² あたり粒数 (×10 ³) ^{e)}	登熟歩合 (%) ^{e)}	千粒重 (g) ^{e)}
不耕起・無施用 ^{a)}	301.1± 2.47 a ^{f)}	33.2±1.17 a	74.1±0.71 ac	19.8±0.29 a
不耕起・施用 ^{b)}	288.1±11.23 a	33.2±1.92 a	80.7±1.96 bc	20.0±0.22 a
代掻き・無施用 ^{c)}	290.8± 2.06 a	29.8±1.26 a	69.6±1.35 a	19.8±0.23 a
代掻き・施用 ^{d)}	294.3±12.14 a	32.5±2.0 a	81.8±1.18 b	19.6±0.36 a

a) 不耕起・無代掻き，バリダマイシン無散布。

b) 不耕起・代掻き，バリダマイシン散布。

c) 代掻き，バリダマイシン無散布。

d) 代掻き，バリダマシ散布。

e) 平均値±標準誤差。

f) 同一項目内で異符号間に5%水準で有意差あり (Scheffe 多重比較検定)。

定される登熟歩合は、バリダシン散布区に比べて無散布区では低い傾向がみられ、特にバリダシン無散布・代掻き区の登熟歩合はバリダシン散布・代掻き区のそれに比べて有意 ($p < 0.05$) に低かった。

考 察

水稻収量に対する本病の影響に関しては、出穂期前後から登熟期にかけて病勢が進水稻収量に対する本病の影響に関しては、出穂期前後から登熟期にかけて病勢が進展することにより、光合成阻害や養水分の吸収阻害が起り、登熟歩合や千粒重などの収量構成要素が低下して、減収に至るとされている (井上・内野 1963)。今回の調査でも代掻き区では紋枯病無防除の場合、防除した場合と比べて、登熟歩合が低下することで玄米収量は10~12%減収した。一方、不耕起区では無防除区の減収率は5%程度で代掻き区に比べて小さく、登熟歩合も防除した場合に比べて無防除では低下したものの有意差はみ

られなかった。前述のとおり、登熟期の発病株率、病斑高率および被害度はいずれも代掻き区に比べて不耕起区では低く、紋枯病による玄米収量の減少が少なく抑えられたと考えられた。

以上のように、不耕起条件では紋枯病の水平・垂直伝播が抑制され、紋枯病無防除条件でも玄米収量の減少が大きくなりえない可能性が示唆された。

現在イネ紋枯病に関しては、抵抗性遺伝子の検索ならびに導入 (Datta *et al.* 1999, 2000, 2002) や、拮抗微生物に関する研究 (Someya *et al.* 2003; Wiwattanapatapee *et al.* 2003; Mew *et al.* 2004) が盛んに行われている。化学農薬軽減のためには、これらの新たな技術開発の必要性はいうまでもないが、今回検討したような不耕起栽培の採用による栽培環境の改変も他の防除方法と組み合わせることで、本病の発生抑制に寄与できる可能性が示された。

第4章 不耕起水田および代掻き水田における害虫の発生とクモ群集との関係

前書き

農耕地における耕起などの栽培管理作業は、有益な広食性捕食者に影響を与える可能性がある。畑地におけるこれまでの研究ではオサムシ類やクモ類を含む広食性捕食者の個体数が耕起条件に比べて不耕起あるいは減耕起条件で多くなることが示されている（House and All 1981；Blumberg and Crossley 1983；House and Parmelee 1985；Robertson *et al.* 1994）。さらに、不耕起栽培下で増大した広食性捕食者は害虫個体群やそれらによる作物被害の抑制に重要な役割を果たしている（Brust *et al.* 1985；Clark *et al.* 1994）。

水田においては、日鷹（1993, 1997）、石島ら（2004）が耕起・代掻き水田に比べて不耕起水田ではコモリグモ類の個体数が多いことを見出した。

しかし、不耕起水田に成立するクモ群集全体についての検討は行われていない。また、不耕起水田においてクモ群集が害虫個体群に及ぼす影響に関しても、必ずしも明らかになっていない。そこで本章では、まず、不耕起水田と代掻き水田のクモ群集の構成、主要なクモの個体数およびバイオマス量の比較検討を行った（第1節）。次に、実験圃場に発生する数種の害虫の個体数を両水田で比較した（第2節）。最後に、両水田で人為的に接種したイチモンジセセリ個体群の生命表を作製し、それぞれの水田における本種の死亡過程を比較することにより、不耕起水田のクモ群集が害虫個体群に及ぼす影響について検討した（第3節）。

第1節：不耕起水田および代掻き水田におけるクモ群集

材料および方法

試験圃場の概要

実験は1999年～2001年の間、東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センターの水田にて行った。同一圃場内に不耕起・無代掻き区および耕起・代掻き区を配置した。各処理区の配置（図2.1）ならびに水稲の栽培方法は第2章のとおりである。なお、プロット間のクモの移動を防ぐために灌水前に各プロットの境界に高さ25 cm

の畦畔板を設置した。また、実験期間中、殺虫剤および殺菌剤は施用しなかった。

節足動物のサンプリング

3年間とも7月から9月の間、各プロットにおけるクモ類およびその他の節足動物の個体数をシリンダー法（Southwood 1978）により調査した。すなわち、プロットごとに系統抽出した10株に0.3×0.2×1.2 mの大きさのケージをかけ、ケージ内の節足動物を水面上にいるものも含めてすべて吸引装置にて採取した。なお、調査間隔は10～14日とした。採取されたサンプルは70%エタノール溶液に浸漬保存し、同定を行った。クモ類は同定後、科ごとに分け、40℃で48時間通風乾燥した。乾燥後、電子天秤にて乾物重を測定した。

データ解析

統計解析に先立って、個体数のデータはすべて $(X+0.5)^{0.5}$ に変換した。クモ類の個体数、バイオマスおよび昆虫の個体数は重複測定分散分析によって解析した。分散分析の結果、処理の効果が有意であった場合および処理と調査日の間の交互作用が有意だった場合は、調査日ごとに処理の効果についてBonferroniの方法により多重比較検定を行った。

結果

1. クモ群集の種構成、個体数およびバイオマス

3年間の調査で、7科15種、6,829個体（不耕起区では3,993個体、代掻き区では2,836個体）のクモが採取された（表4.1）。個体数の上ではコモリグモ科（Lycosidae）、続いてアシナガグモ科（Tetragnathidae）、サラグモ科（Linyphiidae）そしてハエトリグモ科（Salticidae）のクモが優占していた。フクログモ科（Culbionidae）、カニグモ科（Thomisidae）およびヒメグモ科（Theridiidae）のクモの個体数は極めて少なかった。種についてみると、コモリグモ科の、キクヅキコモリグモおよびキバラコモリグモの個体数が著しく多く、特に、不耕起区でこれらが多かった。その他、トガリアシナガグモ（*Tetragnatha caudicula* (Karsch)）、ヨツボシアシナガグモ（*Pachygnatha quadrimaculata* Bös. *et Str.*）、ニセアカムネグモ（*Gnathonarium exsiccatum* Bös. *et Str.*）およびオスクロハエトリ（*Mendoza canestrinii* (Ninni Canestrini & Pavesi)）の個体数も多かった。コモリグモ科、アシナガグモ科、サラグモ科およびハエトリグモ科の種が、採取されたクモ類の個体数の97%を占めていた。

表4.1 1999年～2001年において実験圃場で採集されたクモ類

科名および種名	学名	個体数	
		不耕起区	代掻き区
コモリグモ科		2456 (60.9 ^b)	1322 (46.1)
キクヅキコモリグモ	<i>Pardosa pseudoannulata</i> Bös. et Str., 1906	1811	942
キバラコモリグモ	<i>Pirata subpiraticus</i> Bös. et Str., 1906	642	376
コモリグモ科幼体	Juveniles of Lycosidae	3	4
アシナガグモ科		769 (20.0)	892 (32.4)
トガリアシナガグモ	<i>Tetragnatha caudicula</i> (Karsch, 1879)	104	85
シコクアシナガグモ	<i>Tetragnatha vermiformis</i> Emerton, 1884	23	9
ヤサガタアシナガグモ	<i>Tetragnatha maxillosa</i> Thorell, 1895	16	6
ウロコアシナガグモ	<i>Tetragnatha squamata</i> Karsch, 1879	14	7
ヨツボシヒメアシナガグモ	<i>Pachygnatha quadrimaculata</i> Bös. et Str., 1906	129	183
アゴブトグモ	<i>Pachygnatha clercki</i> Sundevall, 1823	3	5
Tetragnatha 属幼体	<i>Tetragnatha</i> spp. ^{a)}	240	272
Dyschiriognatha 属幼体	<i>Dyschiriognatha</i> spp. ^{a)}	80	137
アシナガグモ科幼体	Juveniles of Tetragnathidae	160	188
サラグモ科		434 (10.8)	479 (16.6)
セスジアカムネグモ	<i>Ummeliata insecticeps</i> Bös. et Str., 1906	20	35
ニセアカムネグモ	<i>Gnathonarium exsiccatum</i> Bös. et Str., 1906	236	273
ノコギリヒザグモ	<i>Erigone prominens</i> Bös. et Str., 1906	5	2
サラグモ科幼体	Juveniles of Linyphiidae	173	169
ハエトリグモ科		258 (6.4)	64 (2.2)
オシクロハエトリク	<i>Mendoza canestrinii</i> (Ninni in Canestrini & Pavesi 1868)	37	7
ハエトリグモ科幼体	Juveniles of Salticidae	221	57
フクログモ科		26 (0.6)	25 (0.9)
ハマキフクログモ	<i>Clubiona japonicola</i> Bös. et Str., 1906	3	2
フクログモ科幼体	Juveniles of Clubionidae	23	23
カニグモ科		5 (0.1)	2 (0.1)
ハナグモ	<i>Misumenops tricuspidatus</i> (Fabricius, 1775)	3	0
カニグモ科幼体	Juveniles of Thomisidae	2	2
ヒメグモ科		9 (0.2)	13 (0.4)
ヤホシサヤヒメグモ	<i>Coleosoma octomaculatum</i> Bös. et Str., 1906	1	1
ヒメグモ科幼体	Juveniles of Theridiidae	8	12
その他・不明		36 (0.9)	39 (1.3)
合計		3993	2836

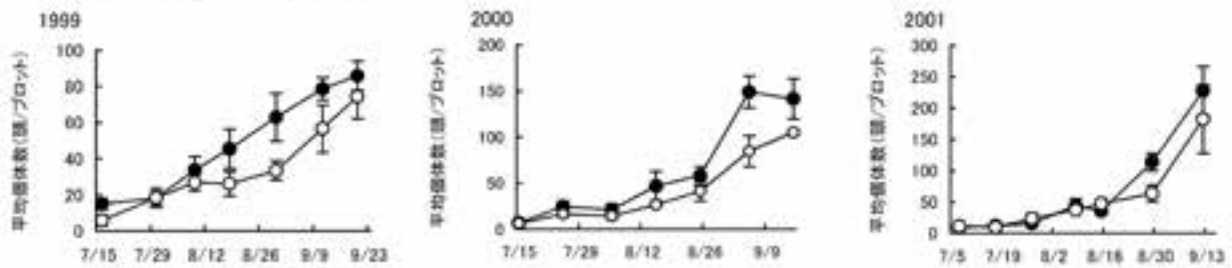
a) 属まで同定が可能であった幼体。b) ()内の数値は各処理の総クモ個体数に占めるそれぞれの科の割合を示す。

図4.1に各年次の各処理区におけるクモ類の総個体数および総バイオマス量の推移を示した。3年間とも調査期間中の両処理区におけるクモ個体数の時間的推移は類似していた。すなわち、5月～8月上旬には不耕起区および耕起区の間に相違はみられなかったが、8月中旬から9月にかけて、代掻き区に比べて不耕起区のクモ個体数は多い傾向がみられた(図4.1 A)。一方、クモのバイオマス量は栽培初期から、代掻き区に比べて不耕起区で若干大きく推

移した。その後、1999年を除き、不耕起区のクモバイオマス量は、8月中旬以降急速に増大したが、代掻き区の増加は緩慢であった。この結果、不耕起区のクモバイオマス量は代掻き区の約2倍に達した(図4.1 B)。

各年次のクモ類の個体数およびバイオマス量について処理間の相違を重複測定分散分析により検討した(表4.2)。その結果、2000年および2001年のクモ類のバイオマス量は代掻き区に比べて不耕起

(A) 各区画内におけるクモ類の平均個体数



(B) 各区画内におけるクモ類の平均バイオマス

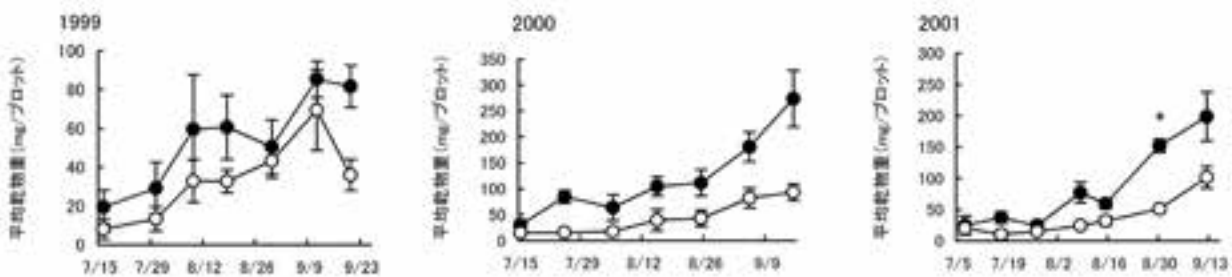


図4.1 1999年～2001年において各処理区で採集されたクモ類の各区画における平均個体数の推移 (A) および平均バイオマスの推移 (B)

●は不耕起区, ○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*は処理間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

表4.2 1999年～2001年におけるクモ類の個体数およびバイオマスについての重複測定分散分析の結果

年次	要因	個体数			バイオマス		
		d. f.	F	p	d. f.	F	p
1999	処理	1	2.31	0.179	1	4.099	0.089
	サンプリング日	6	48.17	<0.01	6	6.55	<0.01
	処理×サンプリング日	6	1.168	0.344	6	0.618	0.15
2000	処理	1	5.451	0.079	1	7.99	0.047
	サンプリング日	6	86.09	<0.01	6	19.48	<0.01
	処理×サンプリング日	6	5.52	<0.01	6	4.402	<0.01
2001	処理	1	0.757	0.433	1	41.3	<0.01
	サンプリング日	6	50.39	<0.01	6	16.82	<0.01
	処理×サンプリング日	6	1.387	0.259	6	2.745	0.035

分析を行う前にクモ類の個体数は $(X+0.5)^{0.5}$ で変換した。

区の方が有意に多かった (2000年: $p < 0.05$, 2001年: $p < 0.01$)。また, 2000年のクモ個体数には処理と調査日の間に有意な交互作用が認められた。そこで, クモ個体数およびバイオマス量について調査日ごとに Bonferroni の多重比較検定を行った。その結果, 2000年9月15日および2001年8月30日, 9月12日のクモバイオマス量は, それぞれ代掻き区に比べて不耕起区の方が有意に大きかった ($p <$

0.05)。

2. 主要な科 (クモ) の個体数およびバイオマス量

耕起・代掻き作業のクモ群集に対する影響をより詳細に検討するため, 採取されたクモ群集の中で優占していた4科 (コモリグモ科, アシナガグモ科, サラグモ科およびハエトリグモ科) について分けて解析した。

図4.2に優占していた4科のクモの両処理区にお

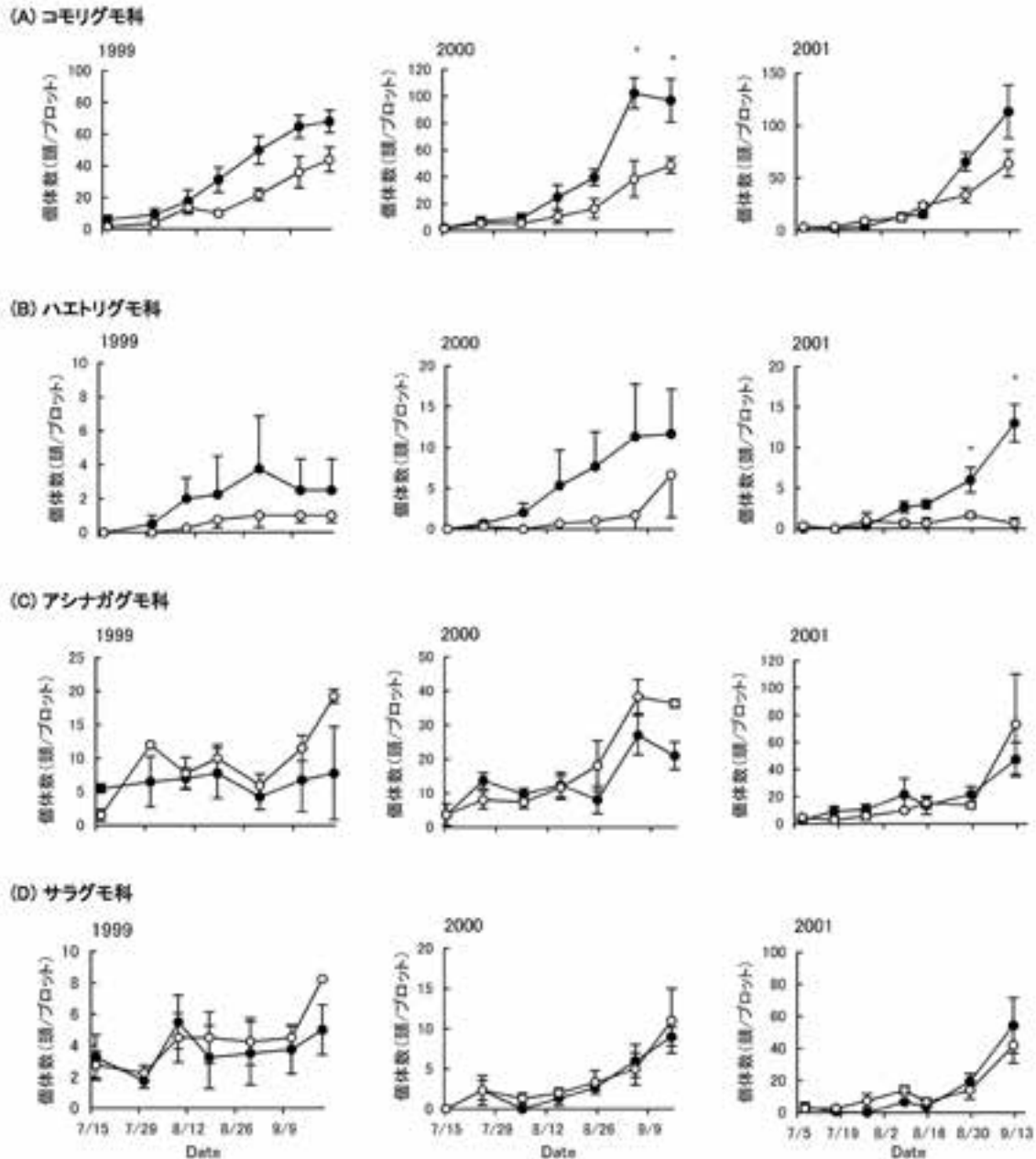


図4.2 各処理において優占していた4科のクモの個体数の推移

●は不耕起区, ○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*は処理間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

ける個体数の時間的推移を示した。コモリグモ科およびハエトリグモ科のクモ個体数に関しては、3年間のいずれの栽培期間においても8月上旬までは両処理区間に違いはみられなかった。しかし、8月中旬以降、不耕起区では個体数が急速に増加したのに対し、代掻き区では増加が緩慢で、これら2科のクモ個体数は不耕起区の方が代掻き区に比べてより多くなった。アシナガグモ科およびサラグモ科のクモに関しても、栽培期間前半は個体数の増加は緩慢であった。栽培期間後半ではこれら2科のクモ個体数は急速に増加したものの、両処理区間に大きな違い

はみられなかった。

図4.3に優占していた4科のクモの両処理区におけるバイオマスの時間的推移を示した。コモリグモ科のバイオマス量に関しては、いずれの年も栽培期間前半では代掻き区に比べて不耕起区の方が若干高く推移した。栽培期間後半は不耕起区で急速に増大したが、代掻き区での増加は緩慢であった。このため、調査終了時のコモリグモ科のバイオマス量は代掻き区に比べて不耕起区は2倍から4倍大きかった。

ハエトリグモのバイオマス量に関しては、いずれ

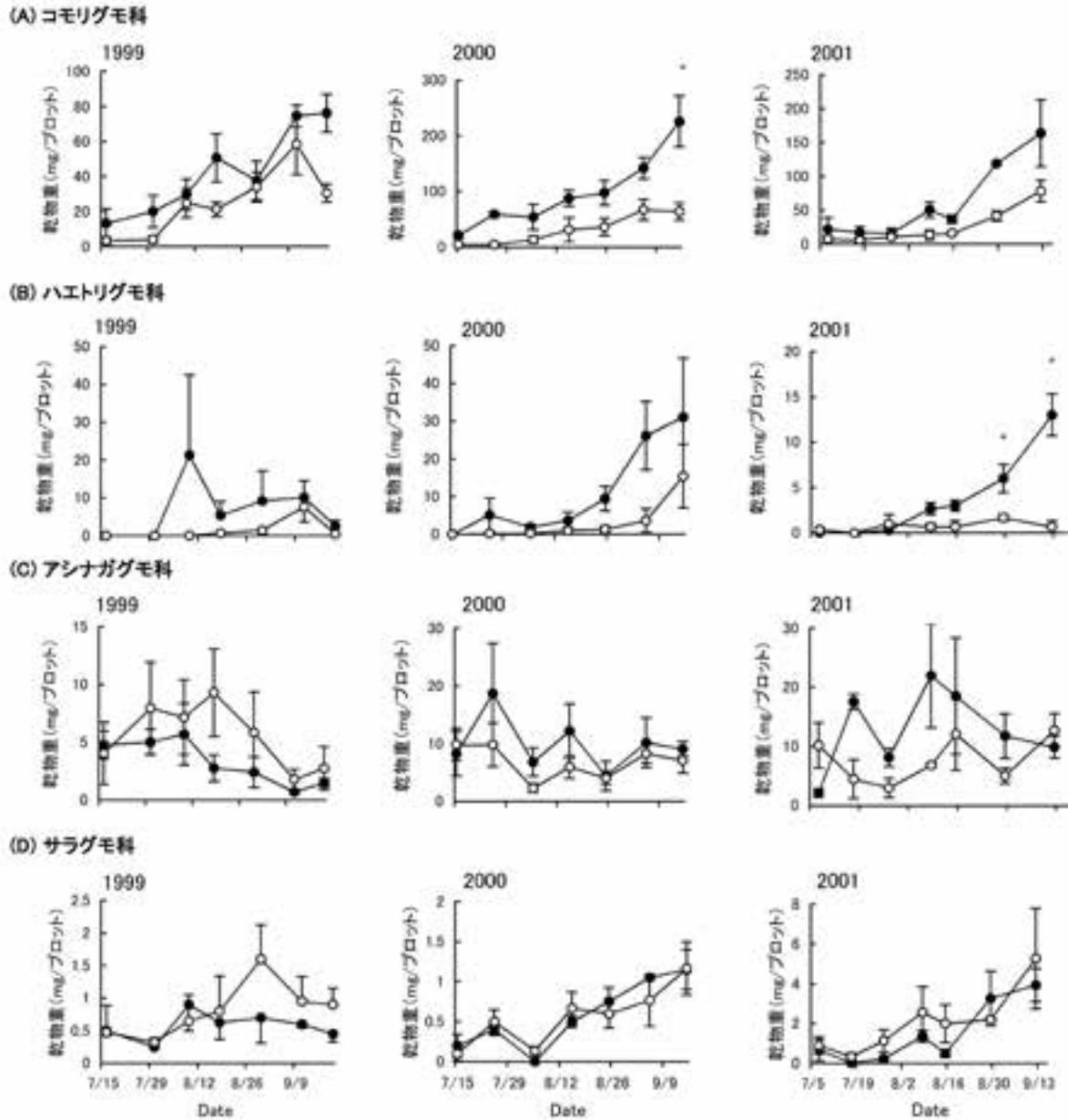


図4.3 各処理において優占していた4科のクモのバイオマスの推移
 ●は不耕起区, ○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*は処理間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

の栽培期間においても代掻き区に比べて不耕起区の方が大きい傾向がみられた。特に、2000年および2001年では、8月中旬以降、不耕起区のバイオマス量は急速に増大したが、代掻き区のバイオマスは著しく小さかった。

サラグモ科のバイオマス量は、両処理区で類似したパターンを示し、いずれの栽培期間も他の3科のクモに比べて小さかった。

アシナガグモ科のバイオマス量は他の3科(コモリグモ科, サラグモ科およびハエトリグモ科)のクモとは異なった推移を示した。すなわち、両処理区のバイオマス量はいずれの栽培期間も、栽培期間前

期から後期に向けての増加は認められず、1プロットあたり5~20mgの範囲で変動した。

両処理区とも、コモリグモ科のバイオマス量は他の3科のクモに比べて調査期間中一貫して大きかった。このため、クモ群集全体のバイオマス量の推移はコモリグモ科のバイオマス量の推移と類似したパターンとなった。

クモ群集の中で優占していた4科のクモの個体数およびバイオマス量について両処理間の違いを重複測定分散分析によって検討した(表4.3)。

その結果、アシナガグモ科およびサラグモ科のクモの個体数およびバイオマス量に関しては処理間に

表4.3 1999年～2001年における主要な科のクモの個体数およびバイオマスについての重複測定分散分析の結果

科	年次	要因	個体数			バイオマス		
			d. f.	<i>F</i>	<i>p</i>	d. f.	<i>F</i>	<i>p</i>
コモリグモ科	1999	処理	1	6.453	0.044	1	5.647	0.055
		サンプリング日	6	54.73	<0.01	6	13.19	<0.01
		処理×サンプリング日	6	1.852	0.116	6	1.693	0.15
	2000	処理	1	8.219	0.045	1	9.269	0.038
		サンプリング日	6	65.9	<0.01	6	14.85	<0.01
		処理×サンプリング日	6	5.52	<0.01	6	3.657	0.01
	2001	処理	1	0.602	0.481	1	19.96	0.011
		サンプリング日	6	66.95	<0.01	6	14.12	<0.01
		処理×サンプリング日	6	4.863	<0.01	6	2.143	0.085
ハエトリグモ科	1999	処理	1	0.818	0.4	1	0.855	0.39
		サンプリング日	6	2.434	0.044	6	1.115	0.372
		処理×サンプリング日	6	0.817	0.563	6	1.006	0.436
	2000	処理	1	2.096	0.221	1	2.228	0.209
		サンプリング日	6	6.734	<0.01	6	4.562	<0.01
		処理×サンプリング日	6	1.649	0.162	6	1.031	0.429
	2001	処理	1	27.961	<0.01	1	41.301	<0.01
		サンプリング日	6	26.218	<0.01	6	16.828	<0.01
		処理×サンプリング日	6	18.366	<0.01	6	2.745	0.035
アシナガグモ科	1999	処理	1	0.742	0.422	1	1.381	0.284
		サンプリング日	6	4.888	<0.01	6	2.649	0.031
		処理×サンプリング日	6	2.312	0.054	6	0.598	0.730
	2000	処理	1	0.415	0.555	1	1.539	0.283
		サンプリング日	6	22.766	<0.01	6	1.873	0.127
		処理×サンプリング日	6	2.282	0.057	6	0.438	0.846
	2001	処理	1	0.178	0.695	1	3.893	0.120
		サンプリング日	6	13.997	<0.01	6	2.164	0.083
		処理×サンプリング日	6	1.079	0.403	6	1.734	0.156
サラグモ科	1999	処理	1	0.142	0.719	1	0.638	0.455
		サンプリング日	6	2.319	0.054	6	1.927	0.103
		処理×サンプリング日	6	0.441	0.846	6	0.935	0.482
	2000	処理	1	0.236	0.652	1	0.434	0.546
		サンプリング日	6	15.011	<0.01	6	5.267	<0.01
		処理×サンプリング日	6	0.364	0.915	6	0.275	0.943
	2001	処理	1	0.751	0.435	1	2.267	0.207
		サンプリング日	6	21.695	<0.01	6	4.951	<0.01
		処理×サンプリング日	6	1.395	0.257	6	0.426	0.854

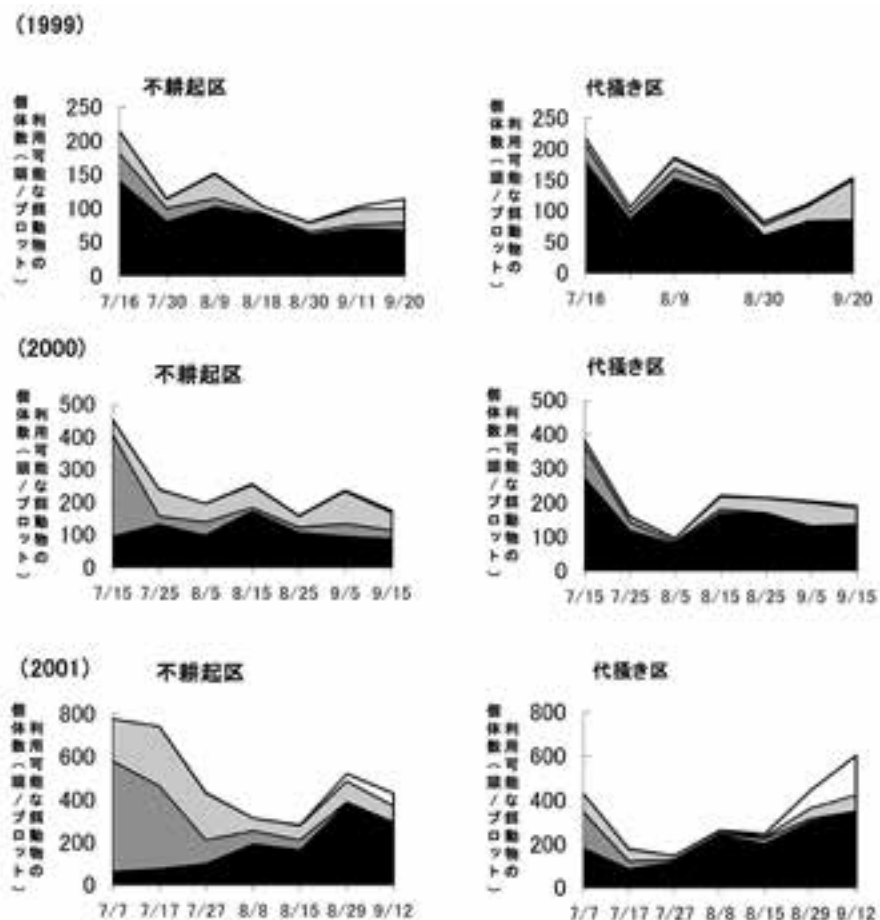
分析を行う前にクモの個体数は $(X+0.5)^{0.5}$ で変換した。

有意な違いはみられなかった。しかし、コモリグモ科に関しては、2000年および2001年のバイオマス量に処理間で有意な相違が認められた ($p < 0.05$)。また、2001年のハエトリグモ科の個体数およびバイオマス量に関しても処理間に有意差が認められた ($p < 0.01$)。また、2001年のコモリグモ科の個体数に関しては、処理と調査日の間に有意な交互作用が認められた ($p < 0.05$)。そこで、処理間に有意差が認められた2科のクモの個体数およびバイオマスについて調査日ごとに Bonferroni の多重比較検定を行った。その結果、2000年9月15日のコモリグモ科のバイオマス、2001年8月29日および9月12日のハエトリグモ科のクモ個体数およびバイオマスで耕起処理の効果が有意であった (いずれも $p < 0.05$)。

3. クモ類の餌動物

図4.4に両処理区におけるクモ類の餌となりうる昆虫の個体数の時間的推移を示した。餌昆虫の個体

数には年次間に著しい違いがみられた。しかし、いずれの年次も餌昆虫としては同翅目、双翅目および水生半翅目昆虫が多かった。これら餌昆虫の総個体数について処理間の違いを重複測定分散分析により検討したが、処理間に有意な相違はみられなかった (表4.4)。しかし、双翅目昆虫の個体数に関しては、2000年および2001年で、代掻き区に比べて不耕起区の個体数が有意に多かった (2000年： $p < 0.01$, 2001年： $p < 0.05$)。そこで、これらの年次の双翅目昆虫の個体数について調査日ごとに Bonferroni の多重比較検定を行ったところ、2000年7月15日 ($p < 0.001$) および2001年7月17日 ($p < 0.05$) には処理間に有意な相違が認められた。同様に、2001年の水生半翅目昆虫の個体数も代掻き区に比べて不耕起区は有意に多かった ($p < 0.05$)。そこで2001年の水生半翅目昆虫の個体数について調査日ごとに Bonferroni の多重比較検定を行ったところ、7月17日および7月27日に処理間に有意差が認められた



■：同翅目 ■：双翅目 □：半翅目 □：その他の餌動物

図4.4 1999年～2001年において各区より採集されたクモ類の餌となりうる昆虫の個体数推移

表4.4 1999年～2001年におけるクモ類の餌となりうる昆虫の個体数およびバイオマスについての重複測定分散分析の結果

年次	要因	同翅目			双翅目			(水生) 半翅目			糸昆虫全体		
		d.f.	F	p	d.f.	F	p	d.f.	F	p	d.f.	F	p
1999	処理	1	4.17	0.09	1	1.63	0.25	1	0.19	0.68	1	0.55	0.49
	サンプリング日	6	11.51	<0.01	6	17.4	<0.01	6	5.25	<0.01	6	7.00	<0.01
	処理×サンプリング日	6	0.39	0.88	6	2.36	0.05	6	3.42	<0.01	6	0.34	0.91
2000	処理	1	4.35	0.11	1	38.42	<0.01	1	2.09	0.22	1	0.44	0.54
	サンプリング日	7	8.05	<0.01	6	46.24	<0.01	6	6.76	<0.01	6	27.83	<0.01
	処理×サンプリング日	7	11.44	<0.01	6	6.26	<0.01	6	4.24	<0.01	6	4.23	<0.01
2001	処理	1	0.59	0.48	1	7.08	0.046	1	13.66	0.02	1	3.61	0.13
	サンプリング日	6	10.98	<0.01	6	25.04	<0.01	6	7.18	<0.01	6	6.75	<0.01
	処理×サンプリング日	6	0.94	0.49	6	4.96	<0.01	6	2.83	0.03	6	4.52	<0.01

分析を行う前に昆虫の個体数は $(X+0.5)^{0.5}$ で変換した。

1999年および2000年の同翅目昆虫の値は石島 (2004) から引用。

($p < 0.05$)。一方、同翅目昆虫の個体数は不耕起区に比べて代掻き区の方が若干多い傾向がみられ、特に栽培初期にその傾向は顕著だった。この点についてはすでに Ishijima *et al.* (2004) が検討しており、第2節で詳しく述べる。

考 察

水田には多様なクモ類が生息しており、これらはウンカ・ヨコバイ類や鱗翅目昆虫など多くの水稲害虫を捕食している (Itô *et al.* 1962; Kiritani *et al.* 1972; Heong *et al.* 1992; Way and Heong 1994)。

圃場実験の結果、クモ類の個体数およびバイオマス量は不耕起処理によって増大した。この結果は、Hidaka (1993, 1997) によるレンゲ草生不耕起栽培水田の実験結果と一致していた。畑地における不耕起あるいは減耕起栽培がクモ類を含む広食性捕食者の個体数やバイオマス量を増大させるとの報告がある (Brust *et al.* 1985; Brust and House 1990; Kendall *et al.* 1991; Symondson *et al.* 1996; Clark *et al.* 1997)。この原因として、減耕起栽培システムが作物や雑草の残渣の増加による生息地構造の複雑化、攪乱の抑制、高土壌水分あるいは餌源となる土壌生息性の分解者の増加など、クモ類にとって好適な環境を提供するためと考えられている (Sunderland and Samu 2000; Wardle 1995)。

慣行栽培水田では移植前に行われる耕起、湛水あるいは代掻きによってクモ類の生息場所は破壊される。これに対して、不耕起栽培水田では稲の刈り株や雑草残渣が水稲移植後まで残存していることによ

り、コモリグモ類あるいはハエトリグモ類を含む一部のクモ類がより早く定着・増殖を行っている可能性がある (Ishijima *et al.* 2004)。

本研究ではさらに、栽培初期に不耕起水田では耕起水田に比べて双翅目昆虫の個体数が多いことが明らかとなった (図4.4)。Settle *et al.* (1996) および村田 (1995) は水田に生息するクモ類を含む捕食者にとって双翅目昆虫は重要な餌源となっていることを示唆している。本研究を行った不耕起水田では、栽培初期のコモリグモ類の餌源として双翅目昆虫が優占していた (Ishijima *et al.* 2006)。このことから、不耕起水田ではクモ類の餌源として双翅目昆虫が有効に働いていると考えられた。

また、水生半翅目昆虫の中ではカタビロアメンボ属が優占していたが、これらの個体数も耕起・代掻き水田に比べて不耕起水田の方が若干多い傾向がみられた。カタビロアメンボ属は水稲害虫のウンカ類の重要な天敵として知られている (Nakasuji and Dyck 1984)。不耕起水田では、コモリグモ類はカタビロアメンボも比較的よく捕食していた (Ishijima *et al.* 2006)。このことはカタビロアメンボも双翅目昆虫同様、クモ類の代替餌として機能していることを示唆している。これらの結果は、不耕起水田が生息場所の構造的複雑化および代替餌の供給を通して、クモ群集の増大を促進していることを示唆している。

クモ群集の構成は耕起・代掻き水田および不耕起水田の間で異なっていた。すなわち、コモリグモ科およびハエトリグモ科のクモ個体数は耕起・代掻き

水田に比べて不耕起水田の方が多く、一方、アシナガゲモ科およびサラゲモ科のクモ個体数は両水田でほぼ同等であった。このことは、耕起作業に対するクモ類の反応が科によって異なっていることを示している。桐谷（1986）および Hidaka（1998）は攪乱が少なく安定した生息場所は非移住性（定住性）の種にとって有利である一方、不安定な生息場所は移住性の種に有利だとする仮説を提唱している。冬小麦の畑では、*Pardosa* spp. を含む非移住性のクモ類が管理作業の影響を受けるが、*Erigone* spp. を含む空中飛行する種はこれらの管理作業の影響が小さいことが報告されている（Schmidt *et al.* 2005）。水田に生息するクモ類では、キクヅキコモリゲモおよびキバラコモリゲモは非移住性の種と考えられている（田中・浜村 1968；川原ら 1974）。一方、*Umme-liata insecticeps*, *Gnathonarium exsiccatum*, および *Erigone prominens* は休閑期中水田内で越冬し、春に空中飛行して水田から移出し、初夏に再び空中飛行によって水田に移入してくる（大熊 1974；川原 1975）。従って、本研究の結果は Schmidt *et al.*（2005）の結果と一致していた。

さらに、これまでの研究で、地上徘徊性鞘翅目昆虫の耕起作業に対する反応は種によって異なり、それぞれの種の特徴あるいは生活環に依存していることが示されている（Hance *et al.* 1990；Cárcamo *et al.* 1995；Clark *et al.* 1997）。従って、不耕起水田におけるクモ群集の構造形成あるいは個体数の増加のメカニズムを明らかにするためには、それぞれの種の移住性、餌動物に対する反応、生活環などをさらに詳細に検討する必要がある。

第2節：不耕起水田および代掻き水田における害虫（イチモンジセセリ、コブノメイガ、ウンカ・ヨコバイ類）の発生活長

材料および方法

調査を行った圃場の設定あるいは水稲の栽培方法などの概要は第2章の通りである（図2.1）。1999年～2001年の3年間にわたってウンカ・ヨコバイ類の個体数を調査した。調査法は本章第1節と同様である。また、イチモンジセセリおよびコブノメイガの幼虫と蛹の個体数を1997年～2000年の4年間にわたって調査した。両種とも水稲の葉身を綴ってツトを作り、この中に幼虫あるいは蛹がいるため、区画

ごとに系統抽出した50株ないし100株の葉身上に作られたツトの内部を観察し、個体を確認して計数した。また、同時に幼虫のおおよその発育ステージ（若齢、中齢、老齢幼虫、蛹）も記録した。イチモンジセセリは第2世代の幼虫が発生する7月下旬から9月中旬の間、1週間から10日間隔で調査した。コブノメイガは世代の区別が明確でないため7月～9月の間、毎月1回、月の月上旬に調査を行った。なお、1999年および2000年は9月のみ調査を行った。

データ解析

統計解析に先立って、個体数のデータはすべて $(X+0.5)^{0.5}$ 変換した。ウンカ・ヨコバイ類、イチモンジセセリおよび1997年、1998年のコブノメイガの個体数は重複測定分散分析によって解析した。分散分析の結果、処理の効果が有意であった場合および処理と調査日の間の交互作用が有意だった場合は、調査日ごとに処理の効果について Bonferroni の方法により多重比較検定を行った。1999年および2000年のコブノメイガについては一元配置分散分析により解析を行った。

結果

1. ウンカ・ヨコバイ類の個体数推移

1999年～2001年の間に採集されたウンカ・ヨコバイ類の中では、ツマグロヨコバイが最も優占していた。また、ヒメトビウンカ (*Laodelphax striatellus* Fallen) も個体数が多かった。この他、イナズマヨコバイ (*Inazuma dorsalis* (Motschulsky)), セジロウンカが採集された。表4.5に採集された各種の1999年～2001年の区画あたり平均個体数を月別に示した。また、ウンカ・ヨコバイ類の区画あたり平均個体数の推移を図4.5に示した。区画あたりのツマグロヨコバイ、イナズマヨコバイおよびウンカ類の平均個体数は、2000年および2001年のウンカ類を除いて、代掻き区に比べて不耕起区の方が若干少ない傾向がみられた。1999年のウンカ・ヨコバイ類の区画あたり平均個体数は両処理区で同様に推移したが、代掻き区に比べて不耕起区の個体数の方が低かった。2000年の個体数推移のパターンは両処理区で異なっており、7月中旬では、不耕起区に比べて代掻き区の個体数レベルが高かったが、その後急速に低下し、両区の個体数レベルに違いはみられなくなった。2001年の個体数レベルの推移も2000年同様、7月上旬では不耕起区に比べて代掻き区の方が高かったが、その後急速に低下し、両区の個体数レ

表4.5 1999年～2001年において採集されたウンカ・ヨコバイ類の区画あたり平均個体数（1区画10株あたり）

年次	処理	種名または科名	月別個体数（平均値±標準誤差）			
			7月	8月	9月	合計
1999年	不耕起区	ツマガロヨコバイ	130.8±24.8	206.3±25.9	43.8±13.7	380.8±46.6
		イナズマヨコバイ	1.3±0.8	4.3±0.3	16.8±2.7	22.5±3.4
		ウンカ科 ¹⁾	10.5±2.1	18.5±5.4	31.3±11.3	60.3±18.0
	代掻き区	ツマガロヨコバイ	207.8±24.5	277.5±48.5	74.5±8.5	559.8±56.6
		イナズマヨコバイ	3.0±0.7	17.0±3.8	16.3±6.5	36.3±8.9
		ウンカ科 ¹⁾	16.3±4.1	30.3±8.3	32.8±13.8	79.3±16.7
2000年	不耕起区	ツマガロヨコバイ	295.0±15.3	325.0±67.1	80.0±22.3	700.0±101.6
		イナズマヨコバイ	1.3±0.3	15.0±6.1	31.0±5.7	47.3±11.3
		ウンカ科 ¹⁾	35.3±8.0	40.7±7.1	87.3±9.4	163.3±24.5
	代掻き区	ツマガロヨコバイ	658.7±84.0	338.7±46.5	145.0±21.4	1142.3±146.4
		イナズマヨコバイ	10.0±1.2	27.3±8.2	52.0±4.2	89.3±12.6
		ウンカ科 ¹⁾	45.0±14.0	49.7±3.7	76.3±17.5	280.3±36.5
2001年	不耕起区	ツマガロヨコバイ	168.0±14.2	544.0±48.2	212.7±29.8	924.7±63.0
		イナズマヨコバイ	2.7±1.2	28.7±5.2	14.7±2.4	46.0±8.4
		ウンカ科 ¹⁾	67.3±24.3	151.0±15.0	62.0±4.2	280.3±20.7
	代掻き区	ツマガロヨコバイ	298.0±26.9	566.7±104.3	273.0±112.3	1137.7±203.2
		イナズマヨコバイ	4.0±1.2	33.0±4.6	18.3±6.5	55.3±10.8
		ウンカ科 ¹⁾	77.3±3.3	133.0±26.5	55.3±13.3	265.7±36.0

1) ウンカ科はセジロウンカおよびヒメトビウンカを含む。

表中の数値は1区画10株あたり個体数の平均値±標準誤差を示す。なお、1999年および2000年のデータは Ishijima *et al.* (2004) から引用した。

ベルに違いはなくなった。

ウンカ・ヨコバイ類の個体数に対する処理の効果を検討するために、重複測定分散分析を行った。その結果、いずれの年次も処理の効果は有意ではなかった。しかし、2000年において処理とサンプリング日との間の交互作用が有意であった（表4.4）。そこで、Bonferroni法により2000年におけるウンカ・ヨコバイ類の区画あたり平均個体数のデータをサンプリング日ごとに解析した。その結果、2000年7月15日のウンカ・ヨコバイ類の個体数には、両処理区間に有意差が認められた ($p < 0.05$)。

2. コブノメイガ幼虫・蛹の個体数推移

（コブノメイガの生態・生活史の概要）コブノメイガは東南アジア、中国大陸、台湾などに広く分布し稲に大害を与える（佐藤・岸野 1978）。わが国には梅雨期に中国湾などに広く分布し稲に大害を与える（佐藤・岸野 1978）。わが国には梅雨期に中国大陸から飛来する（和田・小林 1980）。飛来源の中国では1970年以降、多収性品種の普及、多肥栽培の普及などに伴って多発し始めたと言われている（Ma

and Hu 1992）。飛来後はほぼ1ヶ月間で1世代を完了し、水稻の収穫期までに2～3世代を経過する。飛来は数波に及ぶため、飛来成虫の子孫が互いに重なり合って発生するため、複雑な発消長を示す（和田・小林 1980）。幼虫は水稻の葉身1枚を縦に綴りその中で葉を摂食する。本実験圃場でも毎年、7月上旬～収穫期まで発生がみられる。

図4.6に1997年および1998年の7月～9月における両処理区のコブノメイガの幼虫+蛹および発育ステージ別の幼虫と蛹の区画あたり平均個体数を示した。1997年および1998年におけるコブノメイガの幼虫+蛹の個体数は両処理区で同様に推移した。すなわち、両処理区とも個体数は月を追うごとに増加し、9月が最も多くなった。両処理区の幼虫+蛹の個体数を比較すると、7月および8月では、個体数に大きな相違はみられなかったが、9月では、不耕起区に比べて代掻き区の個体数が多い傾向がみられた。しかし、重複測定分散分析の結果、処理間に有意差は検出されなかった ($p > 0.05$, 表4.6)。次に、発育ステージ別に処理区間で個体数を比較する

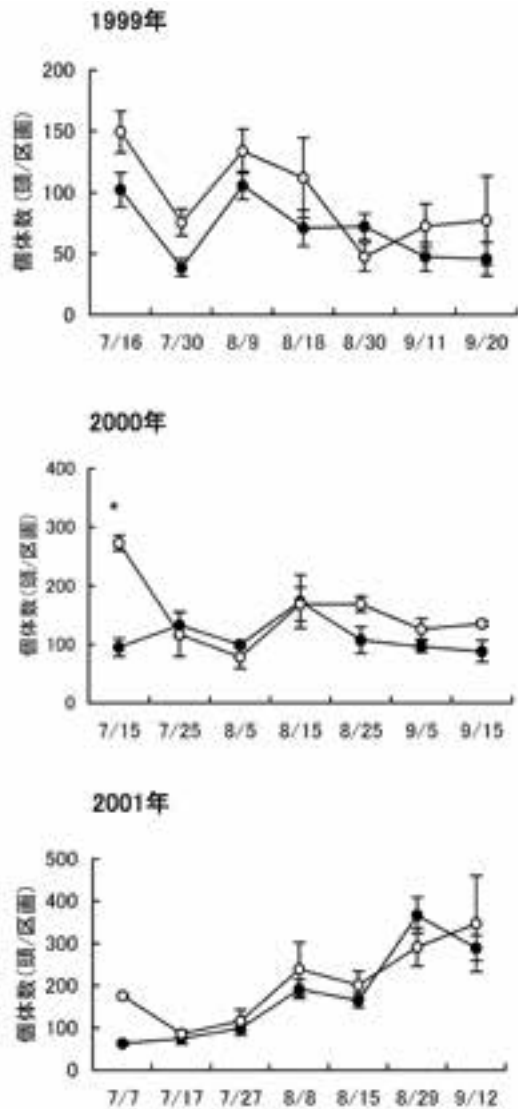


図4.5 1999年～2001年におけるウカ・ヨコバイ類の個体数推移

垂線は標準誤差を示す。●および○はそれぞれ不耕起区および代掻き区のウカ・ヨコバイ類の区画あたり平均個体数を示す。*は処理区間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。なお、1999年および2000年のデータは Ishijima *et al.* (2004) から引用した。

と、若齢幼虫では両年次とも、7月～9月の個体数に処理区間で違いはみられなかった。中齢幼虫および老齢幼虫では両年次とも7月および8月の個体数には違いはみられなかったものの、9月の個体数は代掻き区に比べて不耕起区の方が少ない傾向があった。また、蛹に関しては、両年次とも、蛹が観察された8月および9月で、代掻き区に比べて不耕起区の個体数の方が少ない傾向がみられた。

そこで、各発育ステージ別の幼虫および蛹の個体数に対する処理の効果を検討するため重複測定分散分析を行った。その結果、1997年の中齢幼虫および

老齢幼虫で処理の効果が有意であった ($p < 0.05$, 表4.6)。また、1998年の中齢幼虫および蛹では処理と調査日の間に有意な交互作用が認められた。そこで、1997年の中齢幼虫および老齢幼虫、1998年の中齢幼虫および蛹の区画あたり平均個体数について Bonferroni の多重比較検定を行った。その結果、1997年9月の中齢幼虫および老齢幼虫の個体数には処理区間に有意な相違が認められた ($p < 0.05$, 図4.6)。

表4.7に1999年および2000年の9月上旬における両処理区のコブノメイガの幼虫+蛹および発育ステージ別の幼虫と蛹の区画あたり平均個体数を示した。各処理区におけるコブノメイガの幼虫+蛹の個体数および各発育ステージ別の幼虫、蛹の個体数の関係は、両年次とも1997年および1998年の9月のものと同様であった。すなわち、若齢幼虫の個体数には処理区間に違いがなかったものの、中齢幼虫、老齢幼虫および蛹の個体数は代掻き区に比べて不耕起区の方が少ない傾向があった (図4.6, 表4.7)。この結果、不耕起区の幼虫+蛹の個体数も代掻き区に比べて少ない傾向がみられた。各発育ステージの幼虫、蛹の個体数および幼虫+蛹の個体数について処理の効果を検討するために分散分析を行った。その結果、両年次とも老齢幼虫の個体数に対して処理の効果が有意であった ($p < 0.05$, 一元配置分散分析)。

3. イチモンジセセリ第2世代幼虫・蛹の個体数推移

(イチモンジセセリの生態・生活史の概要) 本種は年3世代を有する (Ishii and Hidaka 1979)。5月下旬に越冬世代成虫が水田に飛来し、生育初期の水稲に産卵する。第1世代幼虫の密度は通常は低い。第1世代成虫は7月中旬頃発生し、生育中期の水稲に産卵する。第2世代の幼虫密度は第1世代に比べて著しく高く、水稲に被害をもたらす。8月下旬～9月中旬にかけて大量に成虫が羽化し、群れを成して移動する独特の行動を示す。幼虫は水稲の葉身を綴ってツトを作り、日中はこの中で過ごし、夜間ツトから出て葉を食害する (Nakasuji 1982)。本実験圃場においても毎年、5月下旬から収穫期まで、本種の発生が認められる。

図4.7に1997年～2000年の両処理区におけるイチモンジセセリの第2世代の幼虫および蛹の区画あたり平均個体数の推移を発育ステージ別に示した。幼虫+蛹の個体数の推移は、いずれの年次も類似して

いた。すなわち、両処理区とも幼虫+蛹の区画あたり平均個体数は8月上旬にピークがみられ、その後漸減した。個体数のレベルを両処理区間で比較する

と、いずれの年次も8月中旬以降、代掻き区に比べて不耕起区の方が若干低く推移する傾向がみられたが、有意な相違は検出されなかった ($p > 0.05$, 重

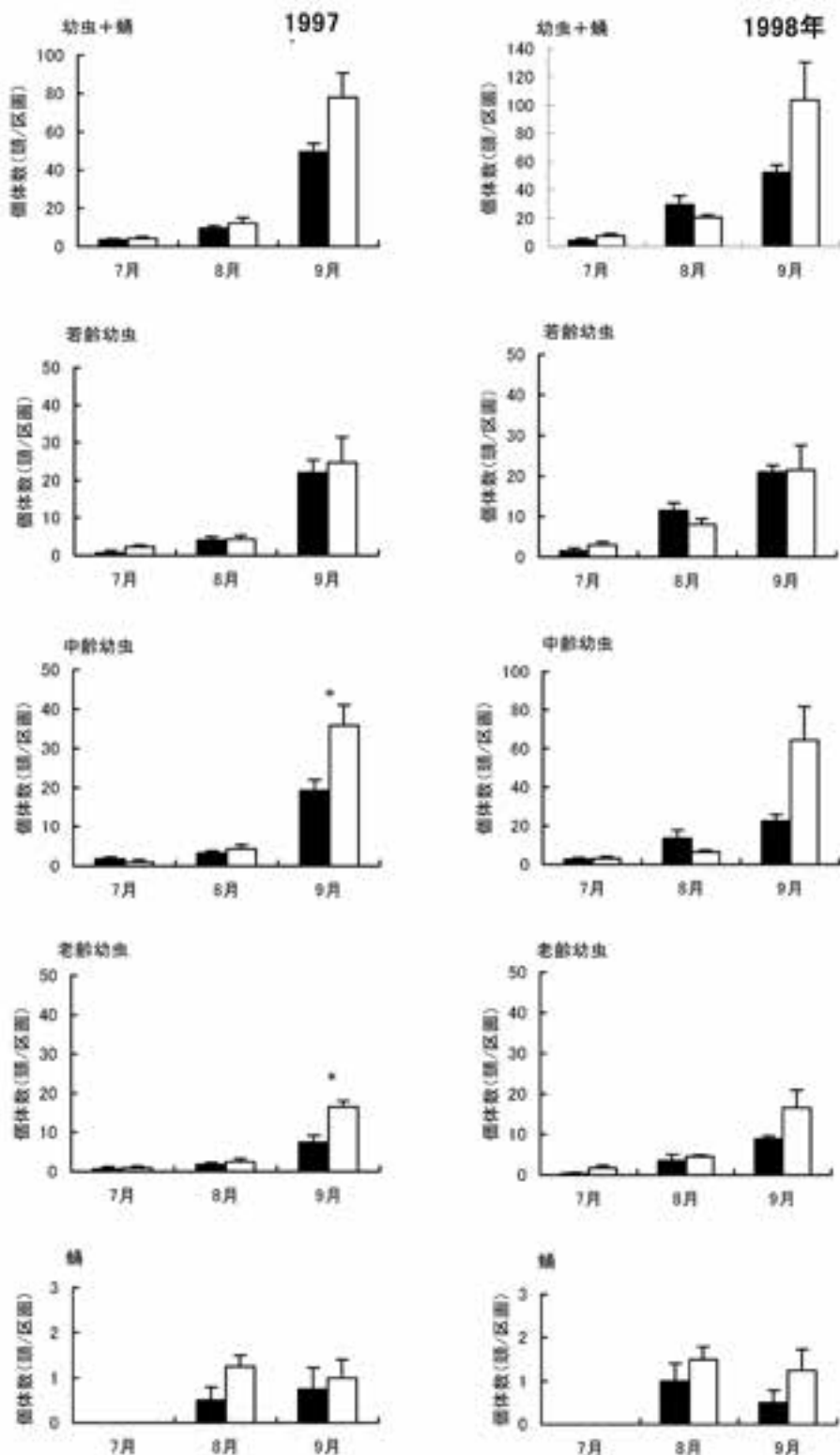


図4.6 1997年および1998年におけるコブノメイガの区画あたり平均個体数（1区画100株あたり）の推移

■は不耕起区を、□は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*は処理区間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

表4.6 1997年および1998年におけるコブノメイガの発育ステージ別区画あたり平均個体数についての重複測定分散分析の結果

年次	要因	発育ステージ														
		若齢幼虫			中齢幼虫			老齢幼虫			蛹			全ステージ		
		d.f.	F	p	d.f.	F	p	d.f.	F	p	d.f.	F	p	d.f.	F	p
1997	処理	1	0.33	0.59	1	6.72	0.04	1	18.18	<0.01	1	1.26	0.30	1	4.79	0.07
	調査日	2	30.13	<0.01	2	69.37	<0.01	2	58.93	<0.01	2	7.35	<0.01	2	70.53	<0.01
	処理×調査日	2	0.08	0.92	2	7.49	<0.01	2	9.58	<0.01	2	1.05	0.38	2	3.89	0.05
1998	処理	1	0.08	0.79	1	4.00	0.09	1	2.89	0.14	1	0.26	0.63	1	3.03	0.13
	調査日	2	19.83	<0.01	2	16.93	<0.01	5	16.04	<0.01	5	14.9	<0.01	2	20.12	<0.01
	処理×調査日	2	0.38	0.69	2	6.24	0.01	5	0.60	0.70	5	2.96	0.027	2	3.64	0.06

分析を行う前にコブノメイガの個体数は $(X+0.5)^{0.5}$ で変換した。

表4.7 1999年9月および2000年9月におけるコブノメイガの発育ステージ別区画あたり平均個体数

年次	処理	区画あたり平均個体数（平均値±標準誤差）				
		若齢	中齢	老齢	蛹	全ステージ
1999年	不耕起	19.8±4.7 a	10.3±2.6 a	7.8±2.6 a	0.8±0.5 a	38.5±5.4 a
	代掻き	19.3±3.7 a	25.8±7.2 a	22.5±4.6 b	1.3±0.8 a	68.8±14.2 a
2000年	不耕起	34.8±4.8 a	23.8±4.8 a	15.5±3.0 a	0.5±0.3 a	74.5±11.1 a
	代掻き	27.0±5.0 a	38.0±7.0 a	32.0±5.0 b	1.3±0.5 a	98.3±10.1 a

同一年次，同一発育ステージ内で異符号間に5%水準で有意差あり（一元配置分散分析）。

なお，分析を行う前にコブノメイガの個体数は $(X+0.5)^{0.5}$ で変換した。

重複測定分散分析)。発育ステージ別の個体数を処理区間で比較すると，若齢幼虫はいずれの年次も不耕起区で代掻き区と同等もしくは若干多く推移する傾向があった。しかし，老齢幼虫および蛹の個体数は不耕起区の方が代掻き区に比べて少なく推移した。

イチモンジセセリの若齢幼虫，老齢幼虫および蛹の個体数に対する処理の効果を検討するため，重複測定分散分析を行った。その結果，1997年および1999年の蛹の区画あたり平均個体数は代掻き区に比べて不耕起区が有意に少なかった ($p<0.05$ ，表4.8)。また，2000年の老齢幼虫では処理と調査日の間に有意な交互作用が認められた。そこで，1997年および1999年の蛹，2000年の老齢幼虫の区画あたり平均個体数について調査日ごとに Bonferroni の多重比較検定を行った。その結果，1999年8月19日の蛹の個体数には処理区間に有意な相違が認められた ($p<0.05$ ，図4.7)。

考 察

本節では不耕起処理による水稲害虫の個体数への影響を検討するため，不耕起区および代掻き区にお

いて発生した主な害虫の個体数の水稲生育期間中における消長を比較した。

まず，両処理区のウンカ・ヨコバイ類の個体数推移に関しては，1999年および2000年に本実験圃場で行われた調査結果をすでに Ishijima *et al.* (2004) が報告しているが，2001年の生育期間中におけるウンカ・ヨコバイ類の個体数の推移パターンも前2年間と類似していた。すなわち，生育初期（7月）のみ代掻き区に比べて不耕起区の個体数の方が少ない傾向がみられた。Ishijima *et al.* (2004) は，不耕起区で水稲の生育初期にウンカ・ヨコバイ類の個体数が少ない原因として，不耕起区の水稲の生育が代掻き区に比べて遅れていることをあげている。日鷹（1990，1993），梶村ら（1995）は水稲の初期生育が緩慢な場合，ウンカ・ヨコバイ類の定着が抑制されることを報告している。両年次とも第2章で示したように，不耕起区では代掻き区に比べて生育初期の茎数増加が緩慢なうえ，葉身の緑色程度を示す SPAD 値も低く推移していた。葉身の緑色程度（SPAD 値）は葉内の窒素濃度と正の相関関係があることが知られており（上田 1990），不耕起区の

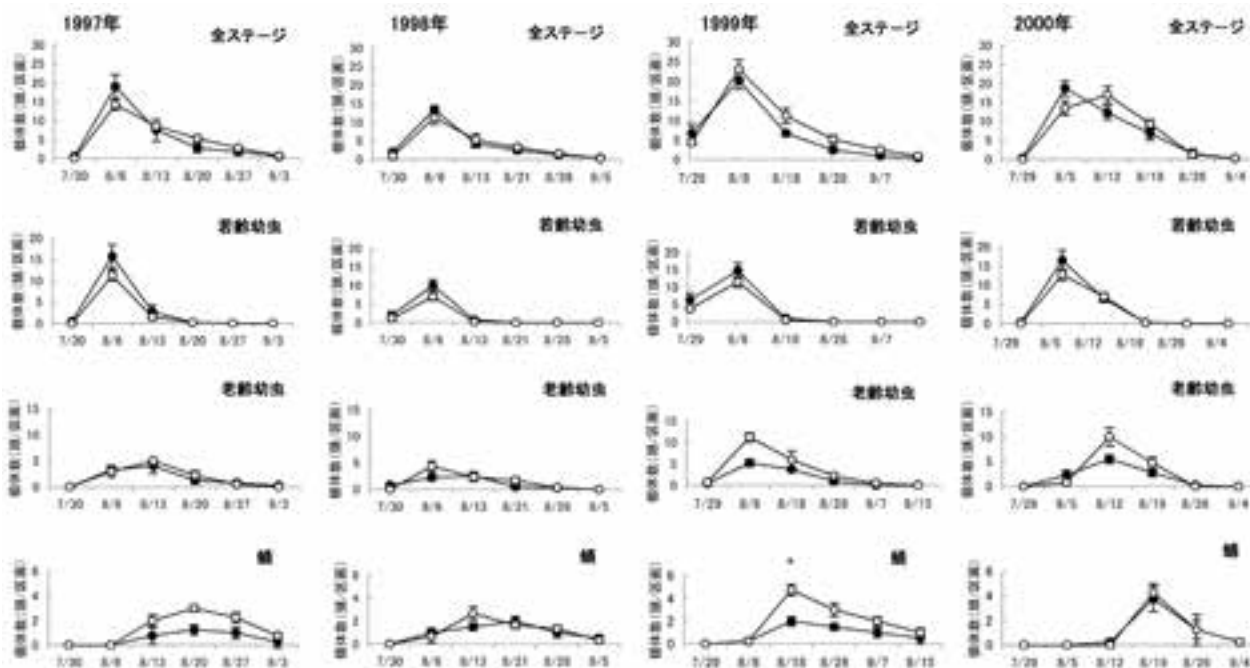


図4.7 1997年～2000年におけるイチモンジセセリ第2世代の发育ステージ別平均個体数（1区画100株あたり）の推移
 ●は不耕起区を，○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。*は処理区間に有意差があることを示す ($p < 0.05$)。

表4.8 1997年～2000年におけるイチモンジセセリ第2世代の发育ステージ別平均個体数についての重複測定分散分析の結果

年次	要因	发育ステージ											
		若齢幼虫			老齢幼虫			蛹			全ステージ		
		d.f.	F	p	d.f.	F	p	d.f.	F	p	d.f.	F	p
1997	処理	1	1.44	0.28	1	0.08	0.79	1	6.17	0.047	1	0.003	0.96
	調査日	5	84.07	<0.01	5	25.95	<0.01	5	18.7	<0.01	5	62.89	<0.01
	処理×調査日	5	0.82	0.55	5	0.73	0.61	5	2.01	0.11	5	2.52	0.051
1998	処理	1	1.45	0.27	1	2.89	0.14	1	0.26	0.63	1	0.59	0.47
	調査日	5	62.44	<0.01	5	16.04	<0.01	5	14.9	<0.01	5	36.25	<0.01
	処理×調査日	5	0.78	0.57	5	0.60	0.70	5	2.96	0.027	5	1.27	0.3
1999	処理	1	2.53	0.16	1	4.46	0.08	1	10.21	0.019	1	2.03	0.2
	調査日	5	89.39	<0.01	5	49.99	<0.01	5	43.00	<0.01	5	75.55	<0.01
	処理×調査日	5	0.72	0.62	5	2.21	0.08	5	3.87	0.014	5	1.73	0.16
2000	処理	1	1.96	0.21	1	0.77	0.41	1	0.02	0.91	1	0.05	0.84
	調査日	5	140.69	<0.01	5	47.27	<0.01	5	22.61	<0.01	5	47.58	<0.01
	処理×調査日	5	0.75	0.59	5	3.22	0.02	5	0.18	0.97	5	0.78	0.57

分析を行う前にイチモンジセセリの個体数は $(X + 0.5)^{0.5}$ で変換した。

水稻は代掻き区的水稻に比べて稲体内の窒素レベルが低かったことが推察される。このことから、不耕起区的水稻は代掻き区的水稻に比べてウンカ・ヨコバイ類の餌としての栄養価が低かったと考えられた。

一方、生育後期では、ウンカ・ヨコバイ類の有力な天敵と考えられているコモリグモ類 (Itô *et al.* 1962; Kiritani *et al.* 1972; Heong *et al.* 1992) の個体数あるいはバイオマス量が不耕起区で多かった (図4.2, 図4.3)。さらに, Ishijima *et al.* (2006)

は1999年および2000年に本実験圃場の不耕起区において直接観察法によりコモリグモ類の餌動物について調査した。その結果、コモリグモ類の餌の60%以上がウンカ・ヨコバイ類であったことを報告している。これらのことから、不耕起区ではコモリグモ類によるウンカ・ヨコバイ類に対する捕食圧が代掻き区に比べて強く働いていた可能性があると考えられる。しかし、調査を行った1999年～2001年の生育後期における両処理区のウンカ・ヨコバイ類の個体数には違いはみられなかった。今回、実験を行った圃場の1区画の面積は2～3aと狭く、ウンカ・ヨコバイ類のように移動能力が高く、世代時間が短い昆虫では、区画間の移動によりコモリグモ類による捕食圧の違いが打ち消された可能性も考えられる。今後、この点に関しては、より大面積での圃場実験やコモリグモによるウンカ・ヨコバイ類の捕食量の定量など、さらに検討が必要と考えられる。

次にコブノメイガについて検討する。本種の個体数は後期世代（9月）に向かって多くなる傾向がみられた。調査を行った4年間の9月における不耕起区および代掻き区の本種幼虫および蛹の個体数を比較すると、いずれの年次でも不耕起区に比べて代掻き区の方が多いう傾向がみられ、特に、中齢・老齢幼虫の個体数の違いが大きかった。若齢期の幼虫個体数には両処理区間に違いがみられなかったことから、不耕起区では本種の中・老齢期に特異的な死亡要因が働いている可能性が考えられた。本章第1節で述べたように、不耕起区では代掻き区に比べて生育後期のコモリグモ類あるいはハエトリグモ類の個体数あるいはバイオマス量が多かった（図4.2, 図4.3）。コブノメイガの天敵としてクモ類の重要性を指摘した報告は見当たらないが、コブノメイガ幼虫に対するクモ類の捕食圧が処理区間で異なっていたことが推察される。一方、本種の寄生性天敵に関しては、数種の寄生蜂および寄生バエが知られている（酒井ら 1942; 和田・島津 1978; 小林・和田 1979）。九州においてはアオムシヒラタヒメバチ (*Itopectis narangae*) が本種の後期世代に対して寄生率が高いことが報告されている（小林・和田 1979）。しかし、今回は本種の寄生性天敵については調査しておらず、現段階では、不耕起処理が本種の寄生性天敵の働きに影響したか否かについては不明である。いずれにしても不耕起水田におけるコブノメイガの後期世代の死亡過程を詳細に検討する必要がある。

最後にイチモンジセセリについて検討する。両処

理区とも本種の個体数は8月初旬にピークを示した。その後、漸減したが、不耕起区の個体数が代掻き区より若干少なく推移した。これは、不耕起区の老齢幼虫および蛹の個体数が代掻き区に比べて少ない傾向があったためである。不耕起区で、代掻き区に比べて老齢幼虫期～蛹期の個体数の減少程度が大きかったことは前述のコブノメイガでみられた傾向と類似していた。このように、イチモンジセセリにおいても不耕起区では代掻き区に比べて、老齢期以降に特異的な死亡要因がより強く働いていることが推察された。

イチモンジセセリではNakasuji (1982), Matsumura (1992) によって未成熟ステージの生命表が作製されている。これらの生命表によれば、本種の第2世代における老齢期以降の死亡要因としては、寄生による死亡が主要なものとしており、特に、寄生蜂の *Apanteles baoris* および *Pediobus mitsukurii* による寄生率が高い。寄生による死亡率にくらべるとその率は低いものの、捕食による死亡も確認されており、捕食性天敵としては、アシナガバチ（中筋 1982）やクモ類、ゴミムシ類（Matsumura 1992）が記録されている。第1節で述べたように不耕起区ではコモリグモ類あるいはハエトリグモ類の個体数、バイオマス量が代掻き区に比べて多く、これらのクモ類によるイチモンジセセリに対する捕食圧が処理区間で違っていった可能性も考えられるが、明確にはなっていない。一方、イチモンジセセリの主要な死亡要因とされる寄生性天敵についても、処理区間でその働きに違いがあったか否かについては、調査を行っていないため現段階では不明である。

以上のように、コブノメイガおよびイチモンジセセリの個体数の消長には処理区間に違いがみられた。しかし、その原因については明らかになっていない。そこで次節では、すでに生命表が作製され、その作製方法が検討されているイチモンジセセリについて、不耕起区および代掻き区において生命表を作製し、それぞれの処理区における本種の死亡過程を比較検討する。

第3節：不耕起水田のクモ群集がイチモンジセセリ個体群に及ぼす影響

材料および方法

1. 圃場設定および栽培概要

実験は1999年～2001年に行った。実験圃場に設定した各処理区の配置および水稻の栽培概要は第2章で述べたとおりである。なお、2000年および2001年に行ったイチモンジセセリの生命表作製およびクモ類の除去実験のために設定した実験区の配置については図4.8に示した。

2. イチモンジセセリの生命表作製

本実験圃場では、イチモンジセセリの発生が毎年みられるが、生命表が容易に作製できるような密度には達しない。そこで、2000年および2001年に Matsumura (1992) の方法に準じてイチモンジセセリ成虫を人為的に放飼し、産卵させた。すなわち、水稻40株を2mmの目合いのナイロンメッシュで覆ったケージを不耕起区および代掻き区にそれぞれ2個(合計4個)設置した(図4.8)。これらのケージに、恒温室内(25℃, 16L8D)で飼育したイチモンジセセリ成虫の雌雄10組を放飼した。放飼は、2000年8月1日および2001年8月10日に行った。これらの成虫に1日間産卵させた後、ケージごと除去した。成虫導入後2日目に産卵された全ての卵を計数した。この際、フェルトペンで卵の付近にマークを付した。孵化後、幼虫はそれぞれ水稻の葉身を巻いてツトを作り、5齢幼虫がツト内で蛹化する。ツトは脱皮の度に作り直される。本種のこの行動は各发育ステージの個体数を推定することを容易にしている(Nakasuji 1982)。卵を接種した水稻株上の全幼虫数および蛹数を2～3日間隔で計数し、ツトの周囲にフェルトペンでマークを付した。なお、調査は成虫が羽化するまで継続した。死亡要因の推定は Matsumura (1992) に準じて行った。すなわち、孵化しなかった卵は卵捕食寄生者による寄生の有無を調査するため、採集し、恒温室内で飼育した。卵捕食寄生者が脱出しなかった卵は、解剖して、死亡原因を特定した。幼虫孵化直後の調査で発見できなかった1齢幼虫は定着失敗と見なした。調査中に発見された捕食寄生者の蛹あるいは繭は恒温室内に回収し、成虫が羽化するまで飼育した。褐色化した幼虫の死骸は生理的死亡によるものと推定した。

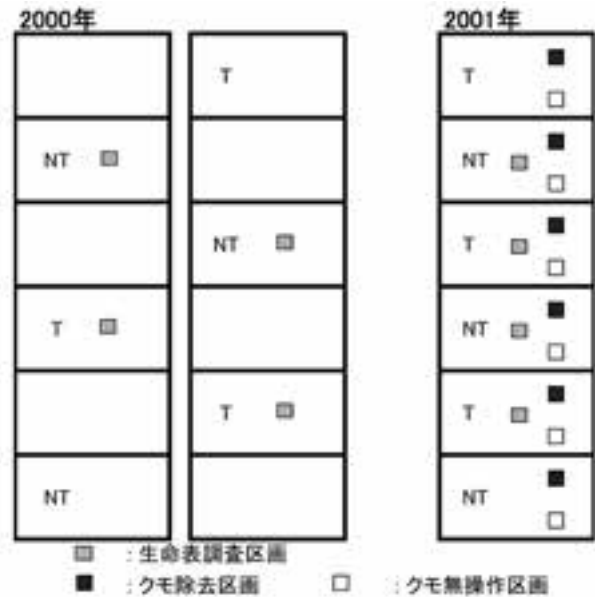


図4.8 2000年および2001年における実験圃場の区画設定図

NT：不耕起区，T：代掻き区。

3. クモ類除去実験

実験は2001年8月中旬に行った。不耕起区および代掻き区の各区画内に75 cm×60 cm×25 cm(縦×横×高さ)のプラスチック製波板で仕切ったサブプロット(以下、クモ除去区)を1個ずつ設置した(図4.8)。クモ類の移出入を防ぐために波板の外縁および内縁にタングルフト(富士薬品工業株式会社製)を塗布した。それぞれのクモ除去区内の水稻は10株であった。クモ除去区内のクモを手および吸引装置を使って除去し、その後、恒温室内にて飼育していたイチモンジセセリ4齢幼虫を1株あたり3頭の密度で水稻株に接種した。クモ除去区の周囲の水稻株は、クモの移入を防ぐために刈取った。各区画内のクモ除去区外の連続する水稻10株をクモ無操作区とし、クモ除去区と同様に4齢幼虫を接種した。接種後1週目に各区画の生存幼虫数を計数した。なお、実験期間中、クモ除去区内でクモを発見した場合は手で除去した。

4. イチモンジセセリ幼虫の生息部位および日周行動

1999年7月26日～7月29日(イチモンジセセリ第1世代成虫産卵時期)に本実験圃場に隣接する圃場において、水稻葉に産卵されているイチモンジセセリの卵を75個探し、フェルトペンで卵付近の葉身にマークをするとともに、その稲株に目印としてボールをたてた。その後、マークした卵から孵化した幼虫の水稻株上での生息部位(ツトの位置)を経時的

に調査した。調査は4, 5日間隔で行い、各個体の発育ステージおよびツトの位置を記録した。ツトの位置については、草高を目視で3等分し、上層、中層および下層とし、各層で発見されたツト数を記録した。なお、卵についてもツトの位置と同様に産卵位置を記録した。調査は全ての幼虫が5齢に達した8月20日まで行った。

1999年8月16日および8月20日に、4齢および5齢の幼虫を合計75頭探し、ツトの付近の葉身にフェルトペンでマークするとともに、その稲株に目印のポールをたてた。両日とも午前9時から3時間間隔で翌日午前6時まで本種幼虫のツトからの出入りの行動を観察した。なお、ツトからの出入りの行動については、「ツトの中に留まっている」、「ツトから一部出ている」および「ツトから完全に出ている」の3つのカテゴリーに分けて記録した。

5. イチモンジセセリ幼虫に対するコモリグモの捕食行動

コモリグモ類の活動部位および捕食活性の日内変化

1999年8月25日および9月17日に不耕起区において、コモリグモ類の水稲株上における分布位置の日内変化を調査した。また、捕食活性の日内変化を把握するため、分布位置を確認後、コモリグモを捕獲し、餌を銜えているか否かを調査した。調査は午前9時から4時間間隔で翌日午前5時まで行った。1回の観察時間は40～50分とした。

室内捕食実験

25℃, 16 L 8 D の長日条件下で飼育したキクヅキコモリグモの幼体および成体を以下の捕食実験に供した。なお、飼育中は餌としてキイロショウジョウバエあるいはツマグロヨコバイを過不足のないように与えた。

各齢期のキクヅキコモリグモによるイチモンジセセリ4齢幼虫の捕食

直径30 mm, 長さ200 mm のガラス製試験管に、脱皮後まもないイチモンジセセリ4齢幼虫を1頭ずつ投入した。なお、試験管には、足場として長さ10 cm に切った割り箸を事前に入れておいた。幼虫が落ち着いた後、24時間絶食させたキクヅキコモリグモの2齢～6齢、亜成体および成体をそれぞれの試験管に1頭ずつ投入した。脱脂綿で試験管に蓋をし、25℃, 16 L 8 D の恒温室に横置き状態で24時間静置した。なお、反復数は各齢期のクモにつき10反復とし、24時間後の捕食の有無を調査した。

キクヅキコモリグモのイチモンジセセリ幼虫密度に対する機能の反応

ビニールハウス内にて1/5,000アールのワグネルポットで水稲を栽培した。水稲の草丈が50 cm 程度になった時点で25℃, 16 L 8 D の恒温室にポット稲を持ち込み、イチモンジセセリ4齢幼虫を接種した。接種密度は1ポットあたり1, 5, 7, 10および15頭とし、反復数をそれぞれ22, 5, 4, 3および3とした。幼虫接種後、ポットに透明の塩化ビニール製の円筒（直径16 cm, 高さ50 cm）をかけ、上部を寒冷紗で覆った。幼虫接種1日後に24時間絶食させたキクヅキコモリグモ雌成体を各ポットに1頭ずつ放飼した。コモリグモ放飼5日後に生存していたイチモンジセセリ幼虫の個体数からクモに捕食された幼虫個体数を推定した。

統計処理

各発育ステージにおける生存率および要因別死亡率は χ^2 検定により検定した。クモ除去実験については、死亡率を逆正弦変換（arcsine-square-root-transformed）した後、二元配置分散分析にて検定した。

結果

1. イチモンジセセリの生命表

2000年および2001年に各処理区にて作製したイチモンジセセリ接種個体群の生命表を表4.9に示した。また、図4.9にそれぞれの年次における各処理区の生存曲線を示した。

卵期間中の死亡要因としては、卵捕食寄生者による死亡率が最も高かった。卵捕食寄生者として2種の寄生蜂（*Telenomus* sp. and *Trichogramma* sp.）が両年次で確認された。幼虫期から蛹期においても捕食寄生者が主要な死亡要因であった。4, 5齢幼虫では *Apanteles baoris* Wilkinson が、また、蛹では *Pediobius mitsukurii* (Ashmead) と *Thecocarcelia thrix* Townsend が確認された。捕食寄生者による死亡率は高かったものの、処理区間に相違は認められなかった（2000年、卵期： $\chi^2=0.18$, $p>0.05$ 。2001年、卵期： $\chi^2=0.18$, $p>0.05$ 。2000年、幼虫～蛹期： $\chi^2=1.24$, $p>0.05$ 。2001年、幼虫～蛹期： $\chi^2=0.65$, $p>0.05$ ）。

一方、4齢, 5齢幼虫では原因不明の死亡率が高かった。2000年における4齢, 5齢幼虫期の原因不明の死亡率は、代掻き区に比べて不耕起区で有意に高かった（4齢： $\chi^2=22.34$, $p<0.01$, 5齢： $\chi^2=$

8.91, $p < 0.01$)。また、2001年では、5 齢幼虫で代掻き区に比べて不耕起区の死亡率が有意に高かった ($\chi^2 = 8.78$, $p < 0.01$)。この結果、各処理区におけるイチモンジセセリの生存率は、若齢期では違いがみられなかったが、老齢期では代掻き区に比べて

不耕起区で急速に低下した (図4.9)。

本実験圃場ではクモ類以外に有力な捕食者はみられなかったことから、クモ類による捕食が原因不明の死亡の主要な要因と考えられた。しかし、このことを直接的に証明する証拠がないため、次にクモ類

表4.9(A) 2000年の不耕起区および代掻き区におけるイチモンジセセリ幼虫個体群の生命表

発育ステージ (x)	死亡要因 (dxF)	不耕起区			代掻き区		
		齢別生存個体数 (lx)	齢別要因別 死亡個体数 (dx)	要因別 死亡率 (100 qx)	齢別生存個体数 (lx)	齢別要因別 死亡個体数 (dx)	要因別 死亡率 (100 qx)
卵		1130			1520		
	捕食寄生		210	18.6		270	17.8
	不明		70	6.2		70	4.6
			280	24.8		340	22.4
1 齢		850			1180		
	定着失敗		223	26.2		372	31.5
	生理死		15	1.8		40	3.4
			238	28.0		412	34.9
2 齢		612			768		
	生理死		0	0.0		0	0.0
	不明		17	2.8		48	6.3
			17	2.8		48	6.3
3 齢		595			720		
	捕食寄生		20	3.4		0	0.0
	生理死		35	5.9		20	2.8
	不明		35	5.9		70	9.7
			90	15.1		90	12.5
4 齢		505			630		
	捕食寄生		50	9.9		70	11.1
	生理死		5	1.0		0	0.0
	不明		250	49.5		170	27.0
			305	60.4		240	38.1
5 齢		200			390		
	捕食寄生		70	35.0		110	28.1
	生理死		0	0.0		10	2.6
	不明		105	52.5		160	41.0
			175	87.5		280	71.8
蛹		25			120		
	捕食寄生		20	80.0		80	66.7
	生理死		5	20.0		0	0.0
			25	100.0		80	66.7
成虫		0			40		
累積死亡率				100.0			97.4

個体数は水稻100株あたりの個体数。

の除去実験を行った。

2. クモ類除去実験

図4.10に不耕起区および代掻き区に設置したクモ類除去区および無操作区におけるイチモンジセセリ4齢幼虫の接種1週後の死亡率を示した。不耕起区

および代掻き区いずれにおいても、クモ除去区に比べてクモ無操作区の死亡率は高かった。また、クモ無操作区間で比較すると、代掻き区に比べて不耕起区の死亡率が高かった。接種した4齢幼虫の死亡率に対するクモ除去および不耕起処理の効果に関する

表4.9(B) 2001年の不耕起区および代掻き区におけるイチモンジセセリ幼虫個体群の生命表

発育ステージ (x)	死亡要因 (dxF)	不耕起区			代掻き区		
		齢別生存個体数 (lx)	齢別要因別 死亡個体数 (dx)	要因別 死亡率 (100 qx)	齢別生存個体数 (lx)	齢別要因別 死亡個体数 (dx)	要因別 死亡率 (100 qx)
卵		1098.1			704.2		
	捕食寄生		399.6	36.4		245.9	34.9
	不明		172.9	15.7		193.1	27.4
			572.5	52.1		439.0	62.3
1 齢		525.6			265.3		
	定着失敗		208.0	39.6		68.1	25.7
	生理死		53.8	10.2		59.8	22.5
			261.8	49.8		127.9	48.2
2 齢		263.9			137.5		
	生理死		3.0	1.1		9.7	0.7
	不明		24.8	9.4		29.2	21.2
			27.8	10.5		38.9	21.9
3 齢		236.2			98.6		
	捕食寄生		6.5	2.8		0.0	0.0
	生理死		6.5	2.8		0.0	0.0
	不明		3.6	1.5		12.5	12.7
			16.6	7.0		12.5	12.7
4 齢		219.5			86.1		
	捕食寄生		48.6	22.1		23.6	27.4
	生理死		3.6	1.6		2.8	3.3
	不明		125.0	56.9		41.7	48.4
			177.2	80.6		68.1	79.0
5 齢		42.5			18.1		
	捕食寄生		27.8	65.4		9.7	53.7
	生理死		0.0	0.0		0.0	0.0
	不明		14.7	34.6		0.0	0.0
			42.5	100.0		9.7	53.7
蛹		0.0			8.4		
	捕食寄生		0.0	0.0		4.2	49.7
	生理死		0.0	0.0		0.0	0.0
			0.0	0.0		4.2	49.7
成虫		0.0			4.2		
累積死亡率				100.0			99.4

個体数は水稻100株あたりの個体数。

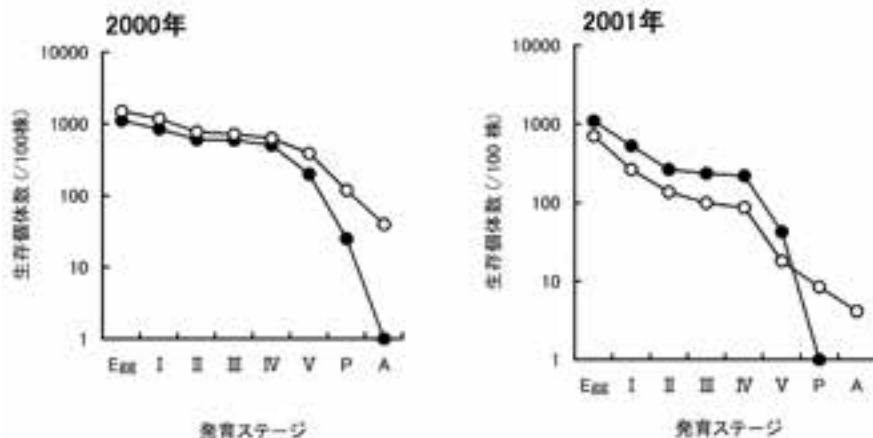


図4.9 不耕起区および代掻き区における接種したイチモンジセセリ幼虫の生存曲線
●：不耕起区，○：代掻き区，I～V：1齢～5齢幼虫，P：蛹，A：成虫。

表4.10 接種したイチモンジセセリ4齢幼虫の死亡率に対する耕起・代掻きの有無およびクモ類除去処理の効果に関する二元配置分散分析の結果

要因	d. f.	F	p
耕起・代掻き処理	1	11.31	<0.01
クモ類除去処理	1	72.96	<0.01
耕起・代掻き処理×クモ類除去処理	1	3.91	0.08

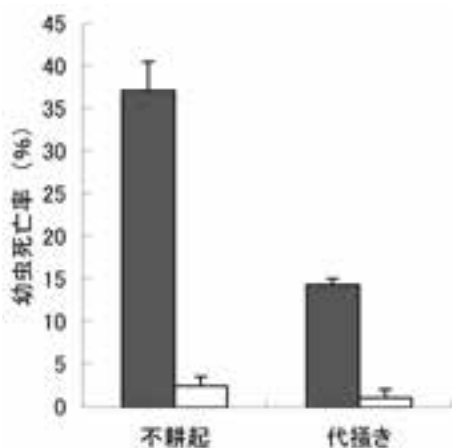


図4.10 耕起・代掻きの有無およびクモ類の除去処理を組み合わせた実験区におけるイチモンジセセリ4齢幼虫の死亡率

■は無操作（対照）区を，□はクモ除去区を示す。垂線は標準誤差を示す。

二元配置分散分析の結果（表4.10），クモ除去 ($F = 72.96, p < 0.001$) および不耕起処理 ($F = 11.31, p < 0.01$) に関してそれぞれ有意な処理の効果が認められた。クモ除去および不耕起処理の間の交互作用は有意ではなかった ($F = 3.91, p > 0.05$)。なお，実験区画内では生理的な死亡あるいは病気によ

る死亡と思われる幼虫の死骸はほとんどみられなかった。また，クモ以外の捕食者は観察されなかった。

3. イチモンジセセリ幼虫の生息部位および日周行動

図4.11にイチモンジセセリの卵および幼虫の各発育ステージにおける水稻株上での分布位置を示した。調査したイチモンジセセリの卵の60%以上が水稻株上層の葉身に産下されていた。しかし，1齢および2齢幼虫は50～55%の個体が下層に分布していた。3齢幼虫は50%以上が中層に分布し，4齢および5齢幼虫では60%以上が上層に，30～35%が中層に分布していた。

イチモンジセセリの3齢～5齢幼虫の日周行動については，発育ステージによって若干の違いがみられた。すなわち，昼間（6時～16時）はいずれのステージにおいても，観察したほとんどの幼虫がツトの中に潜っていた。しかし，夜間（18時から翌日4時）に関しては，ツトから完全に出ている，あるいは一部出ている個体がみられ，全観察個体に対するそれらの比率が3齢幼虫では8～15%，4齢幼虫では30～50%，5齢幼虫では20～80%と，発育ステージの進行に伴ってツトから出ている個体の割合が高

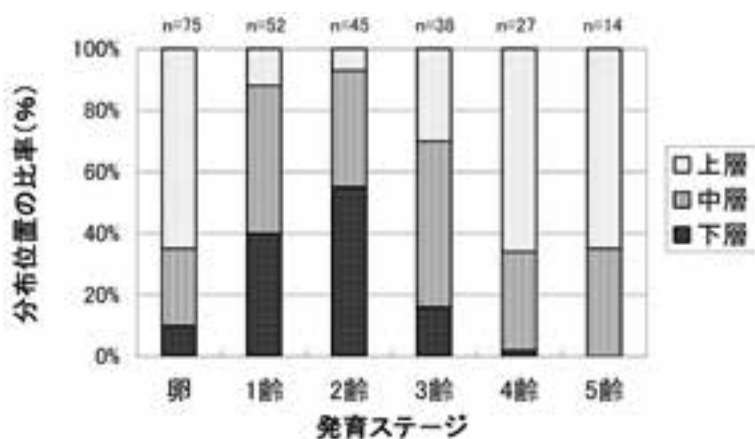


図4.11 イチモンジセセリ卵および幼虫の発育ステージ別分布位置
 図中上部のnの値は観察個体数を示す。

くなる傾向がみられた（図4.12）。また、ツトから出ている個体の多くは水稲葉を摂食していた。

4. イチモンジセセリ幼虫に対するコモリグモの捕食行動

コモリグモ類の活動部位および捕食活性の日内変化

図4.13に1日間の時間帯ごとにコモリグモが分布していた水稲上の部位の比率を示した。9時～17時の間では、観察されたコモリグモの90%前後が水稲株の下層（株元あるいは水面）に分布していた。しかし、21時から翌日5時の間では、観察されたコモリグモの20～30%の個体が水稲株の中層より上部に分布していた。

また、図4.14に時間帯ごとに、観察されたコモリグモの内、何らかの餌を捕食していたコモリグモの比率を示した。9時～17時の間では、捕食行動がみられたコモリグモの比率は観察されたクモの10%以下であった。しかし、21時～翌日5時の間は、その比率が10%以上となり、特に1時には36%に達した。

キクヅキコモリグモの発育ステージとイチモンジセセリ4齢幼虫に対する捕食

まず、キクヅキコモリグモはどの程度の発育ステージからイチモンジセセリ4齢幼虫を捕食することが可能か検討した。キクヅキコモリグモの2齢～成体におけるイチモンジセセリ4齢幼虫に対する捕食率（捕食数÷供試個体数の百分率）を図4.15に示した。キクヅキコモリグモの4齢以降のステージの個体において、イチモンジセセリ4齢幼虫の捕食が認められ、6齢幼体、亜成体および成体では捕食率が80～90%に達した。

キクヅキコモリグモのイチモンジセセリ4齢幼虫の密度に対する機能の反応

ポット栽培した水稲上でのイチモンジセセリ4齢幼虫の密度に対するキクヅキコモリグモ雌成体の捕食数および捕食率（捕食数÷幼虫密度の百分率）を図4.16に示した。なお、それぞれの値はクモ放飼5日間の値を1日当たりの値に換算して示した。平均捕食数は最大でも1.4頭/日と少なかったが、ポットあたりの幼虫密度の増加に伴って平均捕食数は増加した。一方、捕食率は幼虫密度の増加に伴って低下する傾向がみられた。

考 察

今回作成したイチモンジセセリの生命表では、卵期および幼虫期における最も主要な死亡要因は寄生であった。今回観察された捕食寄生種は本種の一次寄生者としてすでに報告されている種であったが、これら捕食寄生者の本実験圃場における多様性は既存の報告に比べて低いものであった（Nakasuji 1982；Matsumura 1992）。また、これら捕食寄生者による死亡率には両処理区間に有意な違いはみられなかった。一方、老齢幼虫期においては、原因不明の死亡が主要な死亡要因であり、代掻き区に比べて不耕起区の方がその値が有意に高かった。第1節で述べたように、8月下旬～9月上旬にはクモ類の個体数あるいはバイオマス量が代掻き区に比べて不耕起区で有意に多かった。（Ishijima *et al.* 2004；Motobayashi *et al.* 2006）。アシナガバチ（Nakasuji 1982）、鳥類（Matsumura 1992）あるいはアマガエル（小山ら 2002）などが本種の捕食者として報告されているが、これらを含めクモ以外の捕食者は

実験区画内ではほとんど観察されなかった。さらに、クモ除去実験で、クモ無操作区における幼虫の死亡率がクモ除去区に比べて有意に高かった。また、クモ無操作区では、幼虫の死亡率は代掻き区に

比べて不耕起区の方が高かった。このようなクモ除去実験の結果および生命表の結果を合わせて考えると、イチモンジセセリの老齢幼虫個体群に対して、クモ類による捕食が重要な死亡要因として働いてい

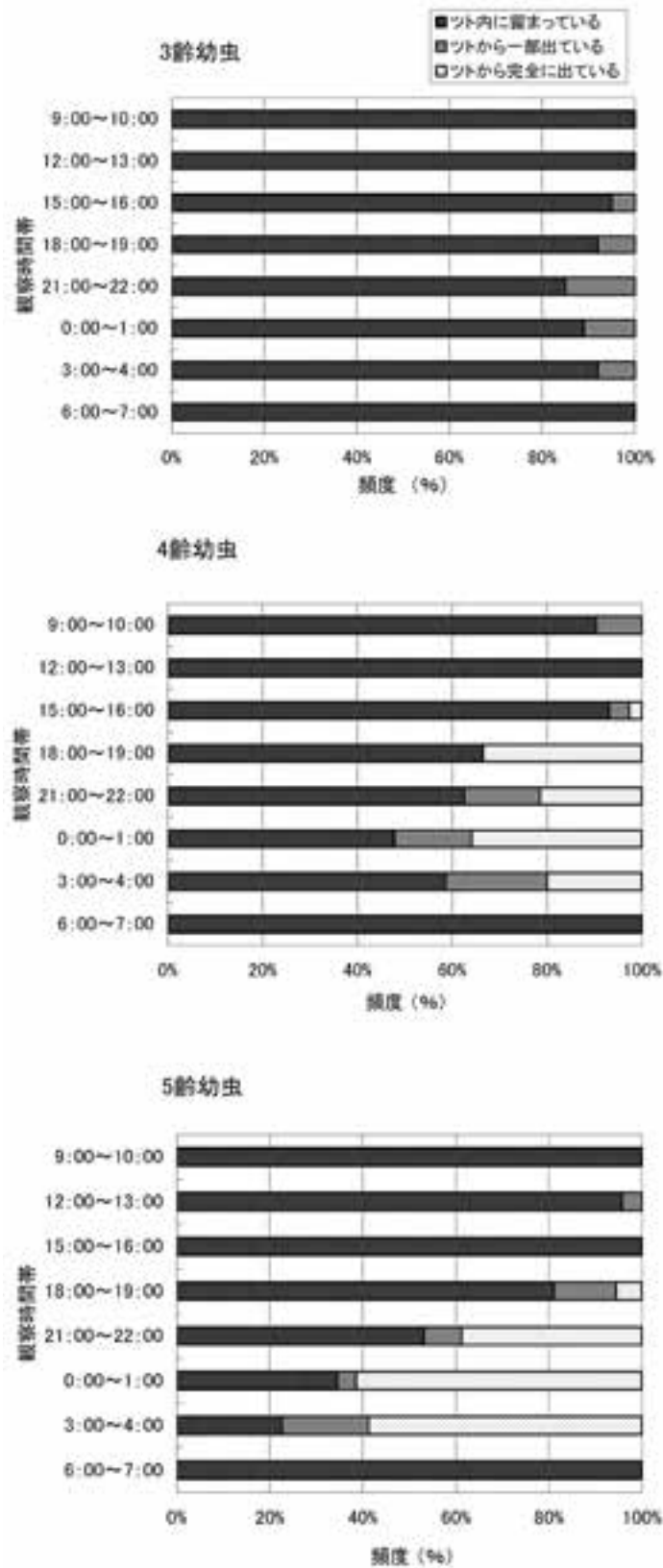


図4.12 イチモンジセセリ 3 齢～5 齢における日周行動

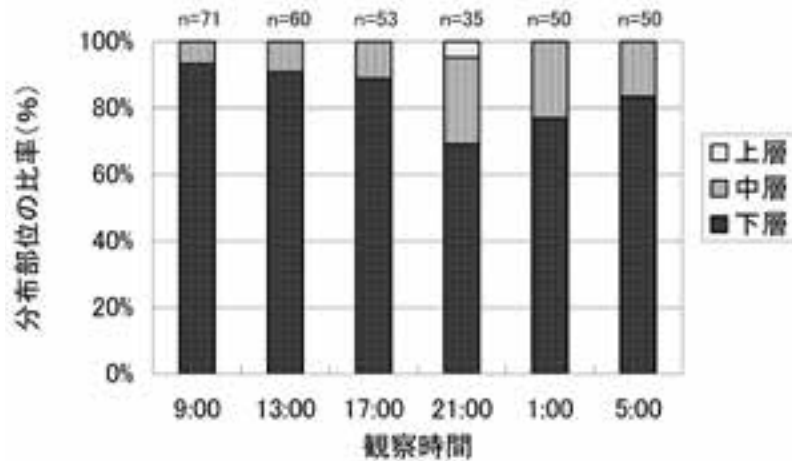


図4.13 コモリグモ類の活動部位の日周変化

図中のnの値は観察したコモリグモ類の個体数を示す。コモリグモの活動部位は目視で水稲株を3等分し、上から上、中、下層とした。

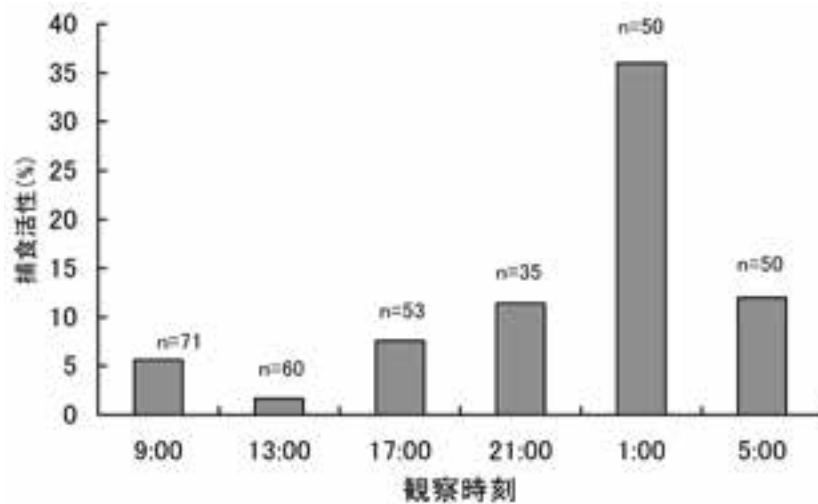


図4.14 コモリグモ類の捕食活性の日周変化

捕食活性は各観察時間に観察されたクモのうち捕食していた個体の割合。図中のnの値は観察個体数。

たことが示唆され、その効果は代掻き水田に比べて不耕起水田でより大きいことが推察された。また、クモ群集の中では、不耕起水田および代掻き水田のいずれにおいてもコモリグモ類の個体数が最も多く、かつ、両水田の個体数に違いがみられたことから、コモリグモ類がイチモンジセセリ幼虫の個体群に対して影響を及ぼしていたと推察された。そこで、次に、イチモンジセセリ幼虫に対するコモリグモ類による捕食の可能性を野外における行動観察と室内における捕食実験により検討した。

Nakasuji (1982) はイチモンジセセリの幼虫が水稲葉を綴ってツトを作り、昼間はこの中に潜んでいることにより、昼間活動する捕食者の攻撃からはまぬがれている可能性が高いが、夜間活動する捕食者

には攻撃される可能性があるとしている。今回、1, 2 齢幼虫の日周行動の調査は行わなかったため、これら若齢幼虫の日周行動については明らかにできなかったが、少なくとも、昼間ツトから出ている若齢幼虫はほとんどみかけられないことから、昼間はツト内にいるものと思われる。また、夜間に関しても、ツト周辺の水稲葉にほとんど食痕がみられないことから、ツトから出て摂食している可能性は低いと考えられる。一方、調査を行った3~5 齢幼虫では、発育ステージが進むにつれて、夜間、ツトから出て摂食している個体の割合が高まり、5 齢幼虫では、午前3~4時に80%ほどに達した(図4.11)。

ところで、イチモンジセセリの卵は60%以上が水

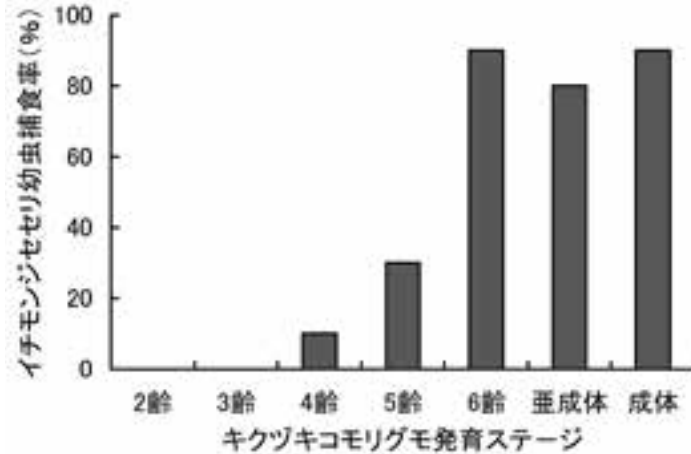
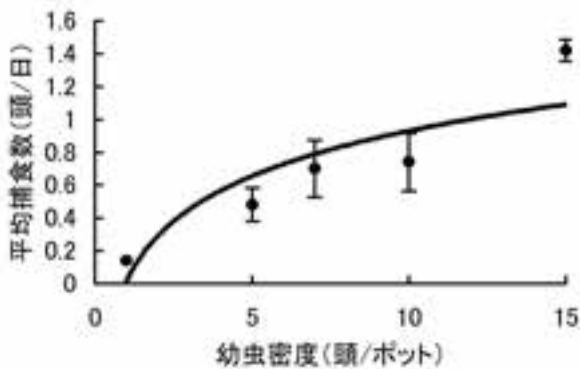


図4.15 イチモンジセセリ 4 齢幼虫に対するキクヅキコモリグモの発達段階別捕食活性
各発達段階のキクヅキコモリグモ10個体にそれぞれ1頭ずつイチモンジセセリ 4 齢幼虫を与え、24時間後に捕食されていたイチモンジセセリ幼虫の比率を調査した。

A: 幼虫密度と捕食数の関係



B: 幼虫密度と捕食率の関係

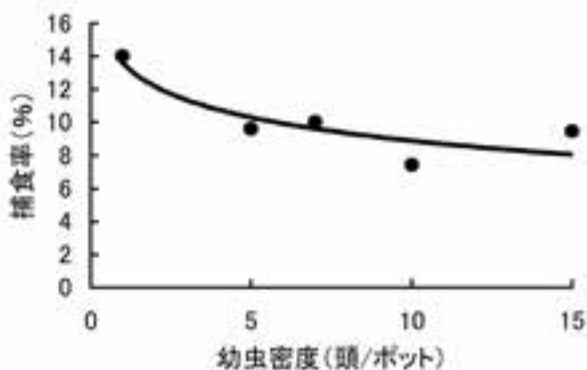


図4.16 キクヅキコモリグモ雌成体のイチモンジセセリ 4 齢幼虫の密度に対する機能の反応

稲株上層の葉に産下されていたが、1 齢幼虫の内、約90%の個体が水稻株の中、下層にツトを形成し、定着していた (図4.10)。Matsumura (1992) は本種の第2世代 (7月下旬~8月下旬) では、水稻葉の劣化により孵化後の幼虫の定着率が著しく低いことを報告している。今回の観察では、水稻の上層葉に産下された卵の付近に孵化幼虫のものと思われる食痕はみられたが、ツトの形成に至っていないケースが多数観察された。これらのことから、上層葉で孵化した幼虫の多くが定着に失敗し、死亡していた可能性が高いと考えられる。しかし、上層の葉で孵化した幼虫が下層に移動した可能性も現段階では否定できない。いずれにしても、1, 2 齢幼虫の多くは水稻株の中、下層にツトを作って定着し、その後、発達段階の進行に伴って上層の葉へと移動していくと考えられる。

一方、コモリグモ類は、昼間に比べて夜間、捕食活性が高まった (図4.14)。この結果は桐谷ら (1972) によるキクヅキコモリグモの捕食行動に関する直接観察の結果と一致していた。また、コモリグモ類は、昼間はほとんどの個体が水稻の株元あるいはその周辺にいたが、夜間は20~30%の個体が水稻の中層あるいは上層に登っていた。したがって、水稻の中、上層に分布するイチモンジセセリの老齢幼虫も、夜間、ツトから出て活動している間は、コモリグモ類と遭遇する頻度が高まり、捕食される可能性が高いことが推察された。

そこで、コモリグモ類の中で最も優占していたキ

クヅキコモリグモに関する捕食実験を行った。キクヅキコモリグモの成体および老齢幼体がイチモンジセセリ4齢幼虫を捕食することが可能であった。キクヅキコモリグモ雌成体のイチモンジセセリ4齢幼虫の密度に対する機能の反応を検討したところ、ポット稲上の幼虫密度の増加に伴って捕食数は増加したが、捕食率は逆に幼虫密度の増加に伴って低下した。このような場合は、Holling (1959) が定義した機能の反応の Type II に当てはまると考えられ、餌密度と捕食数との関係はいわゆる円盤方程式 (disc equation) で近似できる。そこで、この関係を利用して、笹波ら (1970) の方法に従い日当たり最大捕食量を算出した。その結果、日当たり最大捕食量は4.2頭と推定された。

第5章 不耕起栽培された水稲の食葉性害虫による被害に対する補償作用

前書き

登熟期の水稲におけるイチモンジセセリやコブノメイガなどの食葉性害虫による食害は、葉身の減少に伴う光合成産物の減少による登熟歩合あるいは千粒重の低下によって起こる (宮下 1985)。しかし、第2章で示したように、不耕起栽培された水稲は代掻き栽培された水稲に比べて、登熟期の単位葉面積あたりの光合成活性が高かった。このことから、不耕起栽培された水稲では、イチモンジセセリやコブノメイガによる食害に対する補償作用が代掻き栽培された水稲に比べて優れていることが予想される。

本章では、不耕起栽培および代掻き栽培された水稲の出穂期に、イチモンジセセリやコブノメイガなどの食葉性害虫による食害を想定した切葉実験を行い、不耕起栽培および代掻き栽培された水稲における害虫の食害に対する補償作用を比較検討した。

材料および方法

1. 圃場設定および栽培概要

試験は2001年に、東京農工大学農学部附属 FS センター FM 本町の水田で行った。1筆の水田内に不耕起区および代掻き区を設定した。各処理それぞれ3連制とし、同一の処理区が隣り合わないよう配置した。各区画の面積は72 m²とした。4月17日にラウンドアップ (グリホサート・イソプロピルアミン塩液剤; 日本モンサント株式会社) 1,000倍液を100 l/10 a 散布した。その後、4月25日に灌水し、

基肥は化成肥料 (燐加安42号 (14:14:14); 全農) を用いて、N, P₂O, K₂O の成分で各 4 g/m²を施用し、耕起区のみ耕起、代掻きを行った。5月12日に不耕起区および代掻き区ともイネ苗を手植えにて移植した。株密度は、16.7株/m²、株あたり植え付け本数は3本とした。追肥は7月28日および8月25日に化成肥料 (NK 化成2号 (16:0:16); 全農) を N, K₂O の成分でそれぞれ 2 g/m²を表面施肥した。5月30日に除草剤マメット SM (シメトリン・モリネート・MCPB 粒剤; 八洲化学工業株式会社) を、7月25日および9月8日に殺菌剤バリダシン液剤 (バリダマイシン A 液剤; 北興化学) を、5月29日および8月19日に殺虫剤バイジット (MPP 粒剤; 八洲化学工業株式会社) を所定量施用した。なお、水管理は移植後から登熟中期 (9月下旬) まで常時湛水とした。

2. 切葉処理

プロットごとに、連続する84株 (7条×12株) を2ヶ所選び、それぞれ、各株の全分げつ茎の上位2葉を約50%切除する“弱切葉区”および上位2葉を全て切除する“強切葉区”とした。切葉処理は出穂期にあたる8月10日~11日に行った。なお、各プロットの切葉処理を行っていない場所から連続する84株を選び対照区 (無切葉区) とした。

3. 生育経過および収量

生育調査はプロットごとに同一条内の連続する10株を調査株とし、移植後2週目から出穂期まで茎数および草丈を、また、移植後3週目より葉の緑色程度 (SPAD 値) を毎週測定した。葉の緑色程度はミノルタ製葉緑素計 SPAD 502を用い、展開第2葉の葉身について測定した。SPAD 値は、グリーンメーター (SPAD 502; ミノルタ社製) を用いて主茎の展開完了した最上位の葉より1枚下の葉を測定した。

収量調査は、出穂後約6~7週目に各切葉処理区および対照区の中央付近から連続する20株 (約1 m²) を採取し、部分刈り収量を求めた。

4. 切葉後の乾物生産

切葉処理翌日の8月12日および登熟中期にあたる9月9日に、各切葉処理区の中央付近を避け (収量調査用の株を確保するため)、各処理区から5株を選んで採取した。株毎に根を切除し、株元を丁寧に水洗した後、葉は自動面積計 (AAM-7型; 林電工社製) を用いて葉面積を測定した。その後、穂、茎、葉の部位別に分け、90°Cで72時間通風乾燥して、乾

物重を測定した。

結果

1. 生育経過

図5.1に不耕起区および代掻き区の水稲の生育推移を示した。両区の草丈はほぼ同等に推移した。茎数に関しては、第2章の結果同様、代掻き区の方が不耕起区に比べて常に多く推移した。しかし、重複測定分散分析の結果、茎数および草丈いずれに関しても処理の効果は有意ではなかった ($p > 0.05$)。葉の緑色程度を示す SPAD 値については、出穂期まで両区はほぼ同等に推移した。出穂期以降、両区とも SPAD 値は低下したが、不耕起区の低下程度は代掻き区に比べて小さかった。両区の SPAD 値について重複測定分散分析を行った結果、処理の効果は有意であった ($p = 0.02$)。そこで、調査回ごとに両区の SPAD 値について多重比較検定 (Bonferroni 法) を行ったが、いずれの調査回も両区間に有意差は認められなかった。

2. 玄米収量

不耕起区および代掻き区それぞれの無切葉区、弱切葉区および強切葉区における玄米収量を図5.2に示した。不耕起区および代掻き区いずれにおいても、切葉程度が高まるのに伴って玄米収量は減少した。一方、各切葉程度における不耕起区および代掻き区の玄米収量を比較すると、無切葉区および弱切葉区では、不耕起区の玄米収量は代掻き区と同等ないし若干低かった。しかし、強切葉区では不耕起区の玄米収量の方が代掻き区に比べて若干高かった。不耕起区および代掻き区それぞれにおける弱切葉区および強切葉区の無切葉区に対する玄米収量の割合は、不耕起区ではそれぞれ96.5%および90.5%、代掻き区ではそれぞれ91.2%および78.0%であった。玄米収量に対する耕起方法および切葉処理の効果について二元配置分散分析により解析した結果 (表5.1)、玄米収量に対する切葉処理の効果は有意 ($p = 0.012$) であった。一方、耕起方法およびそれぞれの処理の交互作用は有意ではなかった。切葉処理の効果が有意であったので、各処理区の玄米収量について多重比較検定を行ったが、いずれの処理区間にも有意差は認められなかった。

3. 切葉程度と乾物生産との関係

図5.3に不耕起区および代掻き区の各切葉程度における登熟期 (9月9日) の乾物生産量を示した。不耕起区および代掻き区ともに切葉程度が高まるの

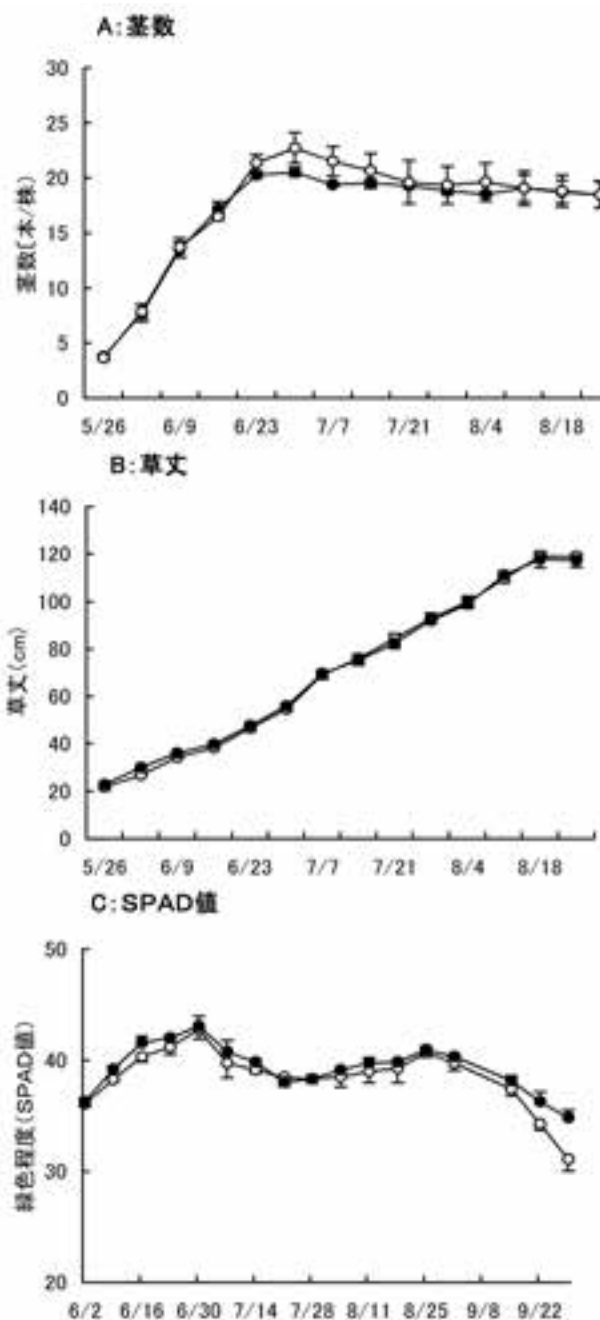


図5.1 不耕起区および代掻き区における水稲の生育推移

●は不耕起区, ○は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。

に伴って登熟期の乾物生産量は減少した。一方、いずれの切葉程度においても、代掻き区に比べて不耕起区の乾物生産量の方が高い傾向がみられた。

登熟期の乾物生産量に対する耕起方法および切葉処理の効果について二元配置分散分析を行った結果 (表5.2)、耕起方法の処理の効果は有意ではなかった ($p = 0.057$)、切葉処理の効果は有意であった ($p = 0.038$)。そこで、各処理区の乾物生産量について多重比較検定を行ったが、いずれの処理区間に

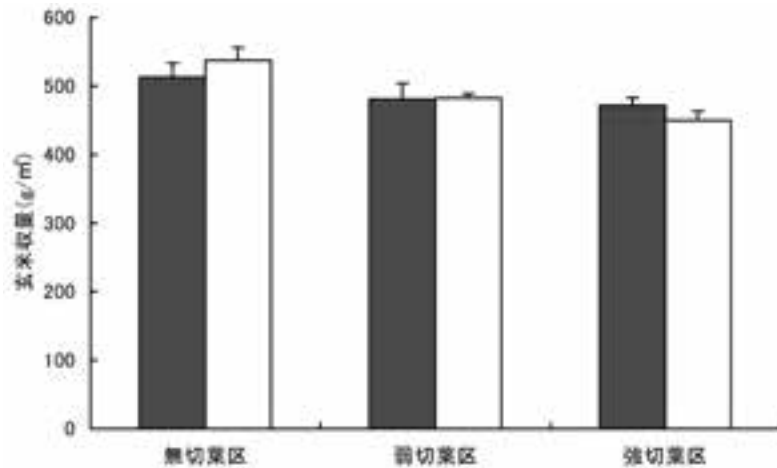


図5.2 不耕起区および代掻き区の各切葉処理区における玄米収量
 ■は不耕起区，□は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。

表5.1 玄米収量に対する耕起・代掻きの有無および切葉処理の効果に関する二元配置分散分析表

要因	df	F	p
耕起方法	1	0.0003	0.986
切葉処理	2	10.228	0.012
耕起方法×切葉処理	2	1.828	0.240

表5.2 登熟期の乾物重に対する耕起・代掻きの有無および切葉処理の効果に関する二元配置分散分析表

要因	df	F	p
耕起方法	1	3.68	0.057
切葉程度	2	5.40	0.038
耕起方法×切葉程度	2	0.04	0.957

も有意差は検出されなかった。

登熟期の乾物生産量に対する切葉処理の効果が有意であったこと、また、耕起方法による相違も若干みられたことから、各処理区の乾物生産過程を生長解析法により検討した。表5.3に出穂期（8月11日）から登熟期（9月9日）の間の不耕起区および代掻き区の各切葉程度における生長関数を示した。

個体群生長速度（CGR）は、いずれの切葉程度においても不耕起区の方が代掻き区比べて高かった。一方、両区とも切葉程度の増加に伴ってCGRは減少したが、減少の割合は代掻き区に比べて不耕起区の方が小さかった。CGRを純同化率（NAR）および平均葉面積指数（LAI）に分解してみると、いずれの切葉程度においても、NARおよびLAIともに代掻き区に比べて不耕起区の方が高かった。ま

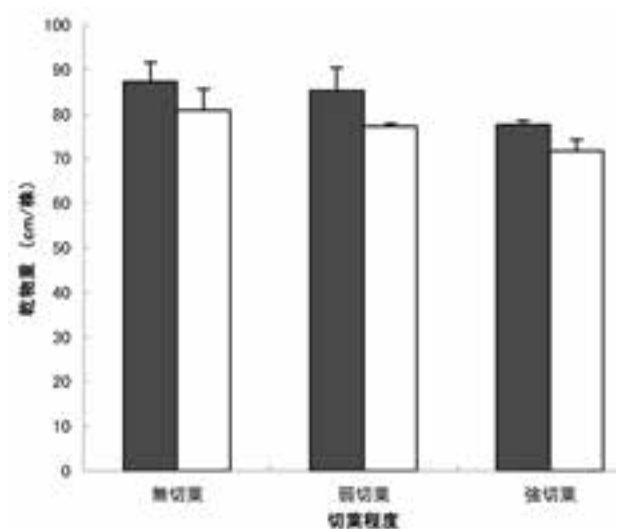


図5.3 不耕起区および代掻き区の登熟期における切葉処理程度と乾物生産量
 ■は不耕起区，□は代掻き区を示す。垂線は標準誤差を示す。

た、代掻き区では切葉程度の増加に伴ってNARおよびLAIともに低下したが、不耕起区では、切葉程度の増加に伴ってLAIは低下したものの、NARは弱切葉区で最も高くなった。

考 察

不耕起区および代掻き区において出穂期に上位2葉に切葉処理を施したところ、登熟期の乾物生産量および玄米収量はいずれの処理区においても切葉程度の増加に伴って減少した。しかし、切葉区の無切葉区に対する登熟期の乾物生産量および玄米収量の減少割合は、代掻き区に比べて不耕起区の方が小さい傾向にあった。出穂期における不耕起区および代

表5.3 出穂期の切葉程度と生長関数との関係

処理区	切葉程度	生長関数		
		個体群生長速度 (CGR)	純同化率 (NAR)	平均葉面積指数 (LAI)
不耕起	無切葉	18.03	3.31	4.82
	弱切葉	16.02	3.70	4.30
	強切葉	11.49	3.06	3.78
代掻き	無切葉	15.80	3.15	4.54
	弱切葉	12.15	2.91	4.07
	強切葉	7.65	2.29	3.32

掻き区の乾物重はそれぞれ1株あたり 60.7 ± 4.4 gおよび 56.8 ± 3.2 gと大きな違いはなかった。しかし、切葉処理を行った出穂期から登熟期の間の個体群生長速度 (CGR) はいずれの切葉程度においても、代掻き区に比べて不耕起区の方が高かった。これは、不耕起区の平均葉面積指数 (LAI) および純同化率 (NAR) がともに代掻き区より大きかったことに起因していた。いずれの切葉程度においても不耕起区の LAI が代掻き区より大きかったのは、不耕起区の方が代掻き区に比べて下層葉の枯れ上がりが遅く、下層葉が多かったことによると考えられる。一方、純同化率は葉身の光合成活性および群落の受光態勢に依存する。本実験では各処理区の水稲葉身の光合成活性および受光態勢に関しては検討しなかった。しかし、登熟期間中の展開第2葉の緑色程度 (SPAD 値) は代掻き区に比べて不耕起区の水稲で高い傾向がみられた。また、1999年に不耕起区および代掻き区の水稲葉身の光合成速度を測定した結果、登熟期の光合成速度は、上位葉および下位葉ともに、代掻き区に比べて不耕起区の水稲の方が高い傾向を示した。一方、受光態勢については両区の間には大きな相違はみられなかった (第2章、第2節)。これらのことから、不耕起区の水稲では上位2葉を切葉処理しても、下層葉が代掻き区より多く、さらに、それらの光合成活性が代掻き区の水稲に比べて高く維持されているために、登熟期の乾物生産量が代掻き区に比べて多くなったと考えられた。

第6章 総合考察

水田では水稲、病害虫、天敵、ただの生物などが複雑な食物連鎖によって関係しながら生物社会を形成している (日鷹 1990)。人間による農作業はこのような生物社会の各々の構成要素に対する直接的な

影響や、食物連鎖を介して間接的な影響を及ぼしている。本研究では、水稲の移植栽培に必要とされる耕起・代掻き作業に着目し、その排除が水稲の生育相および水稲害虫の主要な天敵であるクモ類にどのように影響するのかを検討した。さらにそれらと水稲病害虫の発生・動態との関係を検討し、耕起・代掻きを排除した水稲の不耕起栽培による病害虫制御の可能性について評価することを目的とした。その結果、不耕起栽培された水稲は代掻き栽培された水稲に比べて初期生育が緩慢な一方、生育後期の乾物生産は旺盛であった。そのことによってイネ紋枯病の発生およびウンカ・ヨコバイ類の初期発生量が抑制されること、また、生育後期に発生する食葉性害虫の加害に対する補償作用が大きいたことが示唆された。一方、不耕起水田ではクモ類の個体数あるいはバイオマスが代掻き水田に比べて大きく、イチモンジセリ幼虫に対するクモ類の捕食圧も高いことが示唆された。

これらの結果に基づき、以下に不耕起栽培された水稲の生育相・乾物生産特性が病害虫の発生・動態に及ぼす影響について考察する。また、不耕起水田におけるクモ類が害虫個体群に及ぼす影響について考察する。最後に水稲の不耕起栽培が有する病害虫制御機能の利用について論ずる。

1. 不耕起栽培された水稲の生育相・乾物生産特性が病害虫の発生・動態、被害に対する補償作用に及ぼす影響について

現在の慣行移植栽培体系は主として松島 (1973) などの多収理論に基づいている。すなわち、分けつ期には穂数を確保するために早植え、浅植え、密植、窒素多施、浅水管理などにより分けつを促進させる。最高分けつ期前後には、無効分けつの抑制、土壌の還元化抑制などの目的から中干しを行う。幼

穂形成期には穎花数確保のために穂肥を施用する。さらに、登熟期には登熟歩合の向上のため実肥を施用する（江幡 1977）。しかし、松島が提唱した多収理論は、草型の悪い比較的古い品種の成苗を手植え移植する体系でのデータを基に考えられたもので、草型の良い新しい品種が導入され、さらに田植機による稚苗移植が一般的になった状況の下では、多収に結びつかないケースも多く、むしろ初期の過剰分げつにより過繁茂を引起し、凋落的な生育（秋落ち）に陥りやすいとの批判がある（橋川 1986）。さらに、多収技術の普及は、水稲の重要病害であるいもち病の発生を増大させ（大畑 1987, 1989）、それまで重要ではなかった紋枯病の発生を助長したとされる（堀 1991）。また、ウンカ類などの多化性害虫も稲作の近代的集約化によって発生しやすい環境が作られたとされる（桐谷 1987）。そして、この数十年間、多収技術の持つこのような問題点は根本的に見直されることなく、水稲栽培の現場では、病害虫の防除を薬剤に依存する体質が蔓延することとなってきた。

水稲の移植栽培体系の中で耕起・代掻き作業は必ずしも多収技術としては扱われてはいない。しかし、生育初期の分げつを促進させることから、初期過繁茂を助長している可能性があるとの指摘もあり（熊野ら 1985）、多収技術によってもたらされる病害虫の多発環境を結果的に助長しているとも言える。

これに対して、不耕起栽培された水稲では生育初期の分げつ数が少なく推移する。これは、代掻き水田の土壌とは異なる物理化学性を反映した窒素吸収量の低下が原因と考えられている（第2章）。このような生育初期の分げつ抑制により紋枯病菌核の茎部への付着が安定せず、発病が遅れ、さらにこの遅れがその後の本病の進展にも影響し、生育期間全般にわたって病勢の進展が抑制された（第3章）。また、生育初期の不耕起水田におけるウンカ・ヨコバイ類の密度は代掻き水田に比べて低い傾向がみられた（第4章）。これは、不耕起栽培された水稲では代掻き栽培された水稲に比べて生育初期の分げつ数が少なかったとともに、水稲葉身の緑色程度（SPAD値）も低かったことから（第2章）、ウンカ・ヨコバイ類の餌源としての栄養価が低かったためと推察された（第4章）。

一方、不耕起栽培された水稲は代掻き栽培された水稲に比べて生育後期の乾物生産が旺盛であった

（第2章）。生育後期に問題となる水稲害虫はカメムシ類、コブノメイガ、イチモンジセセリなどである。カメムシ類のような子実害虫では加害から収穫までの間に補償作用が働くことはない。しかし、コブノメイガやイチモンジセセリなどの葉を加害する食葉性害虫では、加害から収穫までの間に水稲の補償作用が働くため、加害程度が同等であっても補償作用の大きさによって収量や品質への影響に違いが生じると考えられる。

食葉性害虫の加害を想定して行った切葉実験の結果、不耕起栽培された水稲は代掻き栽培された水稲に比べて切葉による玄米収量および乾物生産の低下割合が小さく、加害に対する補償作用が大きいことが示唆された（第5章）。これは、不耕起栽培された水稲では代掻き栽培された水稲に比べて生育後期の窒素吸収速度が大きく、葉身の光合成活性が高く維持されていたこと（第2章）に起因すると考えられる。

このように、不耕起栽培された水稲の生育、乾物生産のパターンは代掻き栽培された水稲とは異なり、そのことによって何種かの水稲病害虫の発生が抑制される可能性があるとともに、食葉性害虫による被害が軽減される可能性もあると考えられた。

しかし、不耕起栽培された水稲の生育相は水稲の病害虫に対して抑制的に働くのみではない。不耕起栽培された水稲は代掻き栽培された水稲に比べて生育中期以降の葉身の緑色程度が高く推移した（第2章）。イチモンジセセリでは葉身の緑色程度が高い水稲に選好して産卵することが知られている（尾崎 1951；江村・村上 1986）。本研究ではイチモンジセセリの老齢幼虫の密度は代掻き水田に比べて不耕起水田の方が低かったが、若齢幼虫の密度は代掻き水田に比べて不耕起水田の方が高い傾向がみられた（第4章）、不耕起水田で産卵数が多かった可能性がある。また、稲体中の窒素濃度が高まるといもち病、紋枯病、褐色葉枯病、白葉枯病、縞葉枯病など多くの病害に対する抵抗性が低下することが知られている（大畑 1987）。今後、さらに不耕起水田における病害虫の発生・動態に関する知見の蓄積が必要である。

2. 不耕起水田におけるクモ類が害虫個体群に及ぼす影響について

クモ類は、他の土着天敵に比べて農耕地においても比較的高密度で生息し、多くの作物害虫の重要な天敵となっている（Riechert and Lockley 1984；

Nyffeler and Benz 1987; 田中 1989)。しかし、農耕地では植付けや殺虫剤施用などの農作業による攪乱がクモ類の密度を低下させ、クモ類のみでの作物害虫の制御は困難な場合が多いことも示されている (Riechert and Lockley 1984)。

本研究では、移住性のサラゲモ類やアシナガゲモ類の個体数あるいはバイオマスには代掻き水田および不耕起水田の間に違いはみられなかった。一方、非移住性のコモリゲモ類の個体数あるいはバイオマスは、不耕起水田に比べて代掻き水田の方が少なかった。また、移住性については不明であるが、ハエトリゲモ類でも不耕起水田に比べて代掻き水田では個体数あるいはバイオマスが少なかった (第4章)。このことは、コモリゲモ類およびハエトリゲモ類の増殖が耕起・代掻きによって抑制されていることを示している。

近年、クモ類などの土着天敵による害虫制御を有効に行うために、天敵の生存や繁殖、行動などの活性が高まるように生息環境を変える生息地管理が注目されており、それに関する研究や技術開発が畑作物を中心に進められている (Landis *et al.* 2000)。生息地管理によって改善する対象は、シェルター (天敵の隠れ家や生息場所)、寄主以外の餌、代替餌などがある (田中 2003)。

水稻栽培では生息地管理に関する研究はあまり進んでいないが (田中 2003)、本研究で示された、不耕起水田におけるコモリゲモ類、ハエトリゲモ類の個体数増加は (第4章)、水稻の不耕起栽培の生息地管理技術としての可能性を示すものと考えられる。石島 (2004) は不耕起水田におけるコモリゲモ類の密度増加の原因について、田植え後もしばらくの間水面上に残存する植物残渣が水田内で越冬していたコモリゲモ類のシェルターとして機能し、コモリゲモ類の初期密度を高めたこと。また、不耕起水田では、コモリゲモ類にとって餌資源が不足する栽培初期にユスリカ類の発生が多く、これらが代替餌として働き、増殖速度を速めたためだとしている。しかし、これらはいずれも人的に操作されているわけではない。今後、不耕起栽培を生息地管理技術として成立させるためには、残存する植物残渣量とクモ類の初期密度や代替餌であるユスリカ類の発生量との関係など基礎的な知見を明らかにし、それらを基にクモ類の密度を人為的にコントロールできるようにしていくことが必要であろう。

不耕起水田および代掻き水田におけるクモ類の害

虫個体群に及ぼす影響に関しては、両水田におけるイチモンジセセリ未成熟個体群の生命表解析に加え、クモ類の除去実験を行った結果、不耕起水田では代掻き水田に比べてイチモンジセセリ老齢幼虫に対するクモ類の捕食圧が高いことが示唆された (第4章)。石島 (2004) も不耕起水田ではツマグロヨコバイに対するコモリゲモ類の捕食圧が代掻き水田に比べて高いことを示唆しており、不耕起栽培ではクモ類の密度増加により、害虫の発生が一定程度抑制される可能性があると考えられる。

しかし、捕食者による害虫個体群の安定化には、害虫個体群の死亡率 (捕食率) が害虫密度に対して密度依存的に上昇する必要がある (Hassell 1978)。餌密度が変化した時の個体群全体としての捕食数の変化は、機能の反応と数の反応の積で表される (Solomon 1949)。さらに Holling (1959) は機能の反応を3つのタイプに分けた。本研究ではイチモンジセセリ幼虫に対するキクヅキコモリゲモの機能の反応は飽和型曲線を描くタイプIIの反応を示した (第4章)。これは笹波ら (1970) によって示されたツマグロヨコバイに対するキクヅキコモリゲモの機能の反応と同様だった。捕食率の密度依存的な上昇には、捕食数が餌密度に対してS字型の曲線を描くタイプIIIの反応が必要である (Murdoch and Oaten 1975)。したがって、キクヅキコモリゲモがイチモンジセセリ個体群の増殖を抑制し、安定化させることが可能かどうかはキクヅキコモリゲモの数の反応いかんであり、現段階では評価できない。

一方、Riechert and Lockley (1984) は、1種のクモによる害虫個体群の制御の可能性は低いが、クモ群集全体が特定の害虫の初期増殖を抑制するバッファとして働くとしている。今回実験を行った水田は都市の市街地にあり、周囲には水田はもとより農地はほとんどない。このため一般的な水田に比べて生物相は貧弱であった。実際の水田では様々な害虫やそれらの天敵が生息しており、こうした生物群集の中でのクモ類の働きを評価するためには、多種の餌と多種の天敵との相互作用を扱った、群集レベルのアプローチが不可欠である (田中 1989)。Hidaka (1997) は西南暖地でレンゲ草生・不耕起水田や伝統的な有機栽培水田と慣行栽培水田における水稻群落内の生物群集について比較調査した。その結果でとマメ科植物の草生マルチを組合わせた不耕起水田においてもキクヅキコモリゲモのみでな

く、他のクモや天敵との相互作用（競争、干渉、共食いなど）、さらにこれら天敵群集と害虫との相互作用、また、本研究でも示された、ユスリカ類のような代替餌となる種を介した天敵と害虫との相互関係などについて解明していく必要がある。

3. 水稲の不耕起栽培が有する病害虫抑制機能の利用

現在の水稲栽培体系における、病害虫管理は薬剤による防除が前提となっている。病害に対する薬剤防除以外の方法としては、抵抗性品種の育種・導入があげられるが、コシヒカリ等の良食味の銘柄品種に作付けが集中化しているため、なかなか普及していないのが現状である（大畑 1987）。害虫防除に関しては、天敵に関する多くの研究がなされ、その役割がしだいに明らかにされてきているが、天敵を有効に利用した防除技術は、殺虫剤散布の低減あるいは選択性殺虫剤による天敵保護の他には確立されたものはごく少ない（田中 2003）。

本研究では、移植栽培体系において必要な作業工程と考えられている耕起・代掻き作業の有無による水稲の生育、クモ群集の動態および病害虫の発生・動態への影響を比較した。その結果、耕起・代掻きを排除した不耕起栽培では、水稲の生育相の特性によって紋枯病やウンカ・ヨコバイ類の初期発生が抑制されること。また、クモ類の個体数・バイオマスが増加し、イチモンジセセリ幼虫に対する捕食圧が高まる可能性を示した。このように不耕起栽培は病害虫を抑制する機能を有すると考えられ、薬剤防除を軽減できる可能性がある。したがって不耕起栽培の普及は現行水稲栽培の薬剤依存体質からの脱却への一つの方向と思われる。しかし、不耕起栽培は、湛水後の漏水性や作土の肥沃度などが適正な土壌でない土壌養分の溶脱や減収が起るため、適用が可能な圃場は限定される（金田 1997）。そこで、今回、不耕起水田でみられた水稲の生育相やクモ群集を、代掻き栽培体系の中で実現させる方策について提示した。1960年代に青森県農業試験場で開発された深層追肥技術では基肥施用量を少なくし、深層に追肥を多く施用することによって、不耕起栽培水稲で見られた生育相と同様、生育初期の分けつが抑制され、有効茎歩合が上昇し、後期の生育が旺盛な生育相を実現している（田中 1983）。また、橋川（1986）は、初期生育が抑制されても、中期以降の生育を旺盛にすることで安定した多収が得られることを示し、被覆尿素のような緩効性肥料に

よる施肥管理によってこのような生育相が実現できることを示した。近年では、有機農法（玉置ら 2002）や有機質肥料を中心とした施肥管理（前田 2001, 2002）によっても不耕起栽培と類似した生育相が得られる可能性があることが示されている。一方、クモ類などの天敵の増殖に関しては、畦畔や隣接する土地あるいは畦畔際に植生を作って天敵のシェルターとする方法が考えられる（田中 2003）。また、有機物を施用してユスリカ類などの代替餌を増加させる（Settle *et al.* 1996）、などの方法が考えられる。

このように代掻き栽培においても不耕起栽培の水稲でみられたような生育相や天敵類の増加を実現できる可能性がある。今後、さらに、不耕起栽培に関する研究を進めることにより、薬剤防除を軽減し、低コストで環境負荷の少ない水稲栽培が可能になると考えられる。また、代掻き栽培においても水稲の生育相の改善あるいはクモ類などの天敵に対する生息地管理の導入により、薬剤防除を軽減し、より安全性の高い生産体系の確立が可能と考えられる。

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、終始暖かいご指導とご校閲を賜った東京農工大学共生科学技術研究院教授国見裕久博士に厚くお礼申し上げます。また、本研究を進めるにあたり多くの有益なご助言、ご指導をいただくとともに、本研究論文のご校閲を賜った東京農工大学共生科学技術研究院教授寺岡徹博士、同平沢正博士、茨城大学農学部教授後藤哲雄博士、宇都宮大学農学部教授村井保博士に心からお礼申し上げます。さらに、本研究を始めるきっかけを与えていただくとともに、有益なご助言をいただいた東京農工大学名誉教授石原邦博士、また、絶えずご助言と激励をいただいた東京農工大学名誉教授塩谷哲夫博士、同板橋久雄博士、元東京農工大学農学部教授三橋淳博士に心からお礼申し上げます。本研究を進める過程で、多くの有益なご助言、ご指導をいただいた愛媛大学農学部准教授日鷹一雅博士に心よりお礼申し上げます。

本研究を進める中で、岡山大学農学部教授中筋房夫博士にはイチモンジセセリの生命表作製法をご教示いただくとともに、有益なご助言をいただいた。九州農業試験場地域基盤研究部害虫管理システム研究室松村正哉博士（現九州沖縄農業試験場地域基盤研究部害虫管理システム研究室）にはイチモンジセ

セリ寄生蜂の同定をしていただいた。長野県農事試験場病害虫部吉沢栄治氏（現長野県果樹試験場病害虫土壌肥料部）にはイチモンジセリの飼育法についてご教示いただくとともに、供試昆虫をご提供いただいた。元千葉県農業総合研究センター水田作研究室長深山政治博士、千葉県農業総合研究センター小山豊博士、同在原克之博士には現地調査にご協力いただくとともに、多くの貴重なご助言をいただいた。また、水田での調査にあたり、吉井和敏氏（千葉県茂原市）、中村和夫氏（福島県郡山市）、五十嵐巖氏（福島県猪苗代町）、山本太一氏（茨城県河内町）をはじめ多くの農家の方々にご協力をいただいた。FM本町の水田で共に研究に励みながら、多くの作業や圃場調査に快くご協力くださった学生諸君。東京農工大学農学部教授島田順博士をはじめ、東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センターの皆様には絶えず有形、無形のご支援をいただいた。これら多くの方々へ深く感謝申し上げる。

引用文献

- 安藤 豊・小南 力・藤井弘志・岡田佳菜子 (1998) 不耕起移植水稲の初期生育と登熟期の特徴について. 土肥誌 69 : 618-625.
- Bennett, A. A. (1935) Facing the erosion problem. Science 81 : 321-326.
- Biddington, N. L. and T. H. Thomas (1973) A modified Amaranthus betaryanin bioassay for the rapid determination of cytokinins in plant extracts. Planta 111 : 183-186.
- Blumberg, A. Y. and D. A. Crossley Jr. (1983) Comparison of soil surface arthropod populations in conventional tillage and old field systems. Agro-ecosystems 8 : 247-253.
- Bockus, W. W. and J. P. Shroyer (1998) The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 36 : 485-500.
- Brust, G. E., B. R. Stinner and D. A. McCartney (1985) Tillage and soil insecticide effects on predator-black cutworm (Lepidoptera : Noctuidae) interactions in corn agroecosystems. J. Econ. Entomol. 78 : 1389-1392.
- Brust, G. E., B. R. Stinner and D. A. McCartney (1986) Predator activity and predation in corn agroecosystems. Environ. Entomol. 15 : 1017-1021.
- Brust, G. E. and G. J. House (1990) Effects of soil moisture, no-tillage and predators on southern corn rootworm (*Diabrotica undecimpunctata howardi*) survival in corn agroecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 31 : 199-216.
- Cárcamo, H. A., J. K. Nienelä and J. R. Spence (1995) Farming and ground beetles : effects of agronomic practice on populations and community structure. Can. Entomol. 127 : 123-140.
- 千葉 智・高橋和夫・久保田 徹 (1970) イタリアンライグラス跡地における水稲不耕起直播栽培. 四国農試研報 21 : 1-22.
- 長期不耕起栽培圃場研究グループ (1994) 長期不耕起直播田の土壌及び水稲栽培の実態調査. 農業技術 49 : 251-256.
- Clark, M. S., J. M. Luna, N. D. Stone and R. R. Youngman (1994) Generalist predator consumption of armyworm (Lepidoptera : Noctuidae) and effect of predator removal on damage in no-till corn. Environ. Entomol. 23 : 617-622.
- Clark, M. S., S. H. Gage and J. R. Spence (1997) Habitat and management associated with common ground beetles (Coleoptera : Carabidae) in a Michigan agricultural landscape. Environ. Entomol. 26 : 519-527.
- Cook, R. J. (2000) Advances in plant health management in the twentieth century. Annu. Rev. Phytopathol. 38 : 95-116.
- Datta, K., Velazhahan, R., Oliva, N., Ona, I., Mew, T., Khush, G. S., Muthukrishnan, S. and S. K. Datta (1999) Over-expression of the cloned rice thaumatin-like protein (PR-5) gene in transgenic rice plants enhances environmental friendly resistance to *Rhizoctonia solani* causing sheath blight disease. Theoretical and Applied Genetics 98 (6) : 1138-1145.
- Datta, K., Koukolikova-Micola, Z., Baisakh, N., Oliva, N. and S. K. Datta (2000) *Agrobacterium*-mediated engineering for sheath blight resistance of indica rice cultivars from different ecosystems. Theoretical and Applied Genetics 100 (6) : 832-839.
- Datta, K., Baisakh, N., Maung, T., Tu and S. K. Datta (2002) Pyramiding transgenes for multiple re-

- sistance in rice against bacterial blight, yellow stem borer and sheath blight. *Theoretical and Applied Genetics* 106 (1): 1-8.
- 江幡守衛 (1977) 2. イネ 5. 生理的形態的特徴. 食用作物学 (佐藤 庚・村田吉男・江幡守衛・後藤寛治・松本重男・藤瀬一馬・栗原 浩編). 文英堂, 東京, pp. 58-100.
- 江村 薫・村上正雄 (1986) 最近におけるイチモンジセセリが多発生と今後の問題点. *植物防疫* 40: 279-283.
- 福岡正信 (1962) 米麦直播栽培の実際(1), (2). *農業および園芸* 37: 807-810, 971-974.
- Gebhardt, M. R., T. C. Daniel, E. E. Schweizer and R. R. Allmaras (1985) Conservation tillage. *Science* 230: 625-630.
- Gregory, W. W. and G. J. Musick (1976) Insect management in reduced tillage systems. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 22: 302-304.
- Griffith, D. R., J. V. Mannering and J. E. Box (1986) Soil and moisture management with reduced tillage. In "No-tillage and surface-tillage agriculture" (Sprague, M. A. and G. B. Triplett eds. New York: Wiley), pp. 19-57.
- Hagen, K. S., N. J. Mills, G. Gordh and J. A. McMurtry (1999) Terrestrial arthropod predators of insect and mite pests. In *Handbook of Biological Control* (T. S. Bellows and T. W. Fisher eds.). Academic Press, San Diego, pp. 383-503.
- Hammond, R. B. (1987) Pest management in reduced tillage soybean cropping systems. In "Arthropods in conservation tillage systems", *ESA Misc. Publ. No. 65* (House, G. J. and R. E. Stinner eds. College Park, MD: Entomol. Soc. Am.), pp. 19-28.
- Hance, Th., C. Gregoire-Wibo and Ph. Lebrum (1990) Agriculture and ground beetle populations. *Pedobiologia* 34: 337-346.
- 長谷川 浩 (1995) 不耕起栽培. 日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編, コシヒカリ. 農文協, 東京, pp. 448-454.
- 橋川 潮 (1986) 稲作技術を再検討する. *農業技術* 41: 145-148, 201-205, 249-253.
- 橋本昭彦・猪山純一郎・本田公司 (1978) い草跡の不耕起機械移植栽培に関する研究. 日本作物学会九州支部会報 45: 17-18.
- 羽柴輝良 (1984) イネ紋枯病の発生と被害の予測法. *北陸農試報* 6: 115-164.
- 羽柴輝良・山口富夫 (1972) イネ紋枯病の生育と菌核形成におよぼす窒素源と炭素源の比の影響. *北陸病害虫研究会報* 38: 178.
- Hassell, M. P. (1978) *The dynamics of arthropod predator-prey systems*. Princeton Univ. Press, Princeton.
- 早坂 剛・上林儀徳・長谷川政俊 (1989) 水稲の不耕起機械移植栽培. *日作東北支部報* 32: 8-11.
- Heong, K. L., Aquino, G. B. and A. T. Barrion (1992) Population dynamics of plant- leafhoppers and their natural enemies in rice ecosystems in the Philippines. *Crop Prot.* 11: 371-379.
- 日鷹一雅 (1990) 粗放的でも集約的でもない農法を求めて. 自然・有機農法と害虫 (中筋房夫編). 冬樹社, 東京, pp. 10-264.
- Hidaka, K. (1993) Farming systems for rice cultivation which promote the regulation of pest populations by natural enemies: planthopper management in traditional, intensive farming and LISA rice cultivation in Japan. *FFTC Extension Bull.* 374: 1-15.
- Hidaka, K. (1997) Community structure and regulatory mechanism of pest populations in rice paddies cultivated under intensive, traditionally organic and lower input organic farming in Japan. *Biol. Agric. and Hortic.* 15: 35-49.
- 日鷹一雅 (1998) 水田における生物多様性保全と環境修復型農法. *日本生態学会誌* 48: 167-178.
- 人見 進 (1976) 水稲の不耕起直播栽培の確立に関する基礎的研究. *岡山県農業試験場臨時研究報告* 68: 1-50.
- Holling, C. S. (1959) The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the European pine sawfly. *Can. Ent.* 91: 293-320.
- 堀 真雄 (1991) イネ紋枯病. 日本植物防疫協会, 東京, pp. 324.
- 堀 真雄・安楽又純 (1971) イネ紋枯病の発生予察技術に関する研究. 農林省農林水産技術会議事務局 指定試験 (病害虫) 11: 1-138.
- 堀 真雄・堀内誠三 (1988) 移植及び直播栽培にお

- けるイネの栽培方法と紋枯病発生との関係. 近畿中国農業研究 75: 41-44.
- House, G. J. and J. N. All (1981) Carabid beetles in soybean agroecosystems. *Environ. Entomol.* 10: 194-196.
- House, G. J. and B. R. Stinner (1983) Arthropods in no-tillage soybean agroecosystems: community composition and ecosystem interactions. *Environ. Manage.* 7: 23-28.
- House, G. J. and R. W. Parmelee (1985) Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 5: 351-360.
- 井上好之利・内野一成 (1963) 稲紋枯病に関する研究—第一報被害の生態および薬剤防除. 農林省農林水産技術会議事務局指定試験 (病害虫) 4: 1-136.
- 石橋英二 (1995) 不耕起栽培における土壌環境の変化と圃場管理. 日本土壌肥料学会講演要旨集 41: 234-235.
- 石原 邦・黒田栄喜・石井龍一・小倉忠治 (1979) 水稻葉身の窒素含量と光合成速度との関係—同化箱法と酸素電極法を用いての比較—. 日作紀, 48: 551-556.
- Ishii, M. and T. Hidaka (1979) Seasonal polymorphism of the adult rice-plant skipper, *Parnara guttata guttata* (Lepidoptera: Hesperidae) and its control. *Appl. Entomol. Zool.* 14: 173-184.
- Ishijima, C., T. Motobayashi, M. Nakai and Y. Kunimi (2004) Impacts of tillage practices on hoppers and predatory wolf spiders (Araneae: Lycosidae) in rice paddies. *Appl. Entomol. Zool.* 39: 155-162.
- Ishijima, C., A. Taguchi, M. Takagi, T. Motobayashi, M. Nakai and Y. Kunimi (2006) Observational evidence that the diet of wolf spiders (Araneae: Lycosidae) in paddies temporarily depends on dipterous insects. *Appl. Entomol. Zool.* 41 (2): 195-200.
- Ito, Y., K. Miyashita and K. Sekiguchi (1962) Studies on the predators of the rice crop insect pests, using the insecticidal check method. *Jpn. J. Ecol.* 12: 1-12.
- 梶村達人・前岡庸介・I. Nyoman Widiarta・須藤 猛・日鷹一雅・中筋房夫・永井一哉 (1995) イネの有機栽培がウンカ・ヨコバイ類の個体群密度に及ぼす影響. Ⅲ. イネの生育がウンカ類の侵入密度に及ぼす影響. 日本応用動物昆虫学会中国支部会報 36: 5-9.
- 金田吉弘 (1992) 低湿重粘土汎用水田における水稻の不耕起及び部分耕移植栽培. 農業技術 47: 215-219.
- 金田吉弘 (1997) 多様な水稻栽培方式における水田土壌肥料研究の現状と方向 3. 不耕起栽培における土壌・施肥管理. 土肥誌 68: 69-74.
- 金田吉弘・長野間宏・山谷正治 (1990) 低湿重粘土水田における汎用化のための下層土の管理 (第2報) —部分耕移植栽培における水稻の施肥窒素の吸収と効率的施肥—. 東北農業研究 43: 61-62.
- 金田吉弘・粟崎弘利・山谷正治 (1992) 低湿重粘土水田における汎用化のための下層土の管理 (第4報) —不耕起移植水田における表面施用わらがメタン生成と水稻生育に及ぼす影響—. 東北農業研究 45: 77-78.
- 金田吉弘・粟崎弘利・村井 隆 (1994) 肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量施肥による水稻不耕起移植栽培. 土肥誌 65: 385-391.
- 川口桂三郎編 (1978) 水田土壌学. 講談社, 583 pp.
- 川原幸夫 (1975) コサラゲモ類の個体群生態. 高知県農林技術研究所報告 7: 53-64.
- 川原幸夫・桐谷圭治・垣谷直俊 (1974) キクヅキコモリグモ (*Lycosa pseudoannulata* Bös. et Str.) の個体群生態. 高知県農林技術研究所報告 6: 7-22.
- Kendall, D. A., N. E. Chinn, B. D. Smith, C. Tidbald, L. Winstone and N. M. Western (1991) Effects of straw disposal and tillage on spread of barley yellow dwarf virus in winter barley. *Ann. Appl. Biol.* 119: 359-364.
- Kenmore, P. E., F. O. Carino, G. A. Perez, V. A. Dyck and A. P. Gutierrez (1984) Population regulation of the rice brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) in rice fields in the Philippines. *J. Plant Prot. Trop.* 1: 19-38.
- 桐谷圭治 (1986) 群集の攪乱と再安定. 日本の昆虫—侵略と攪乱の生態学— (桐谷圭治編). 東海大学出版会, 東京, pp. 158-179.
- 桐谷圭治 (1987) 水稻の栽培環境の変化と生物群集. 農林水産研究ジャーナル 7: 43-48.

- Kiritani, K., N. Hokyō, T. Sasaba and F. Nakasuji (1970) Studies on population dynamics of green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler: regulatory mechanism of the population density. Res. Popul. Ecol. 12: 137-153.
- Kiritani, K., S. Kawahara, T. Sasaba and F. Nakasuji (1972) Quantitative evaluation of predation by spiders on the green rice leafhopper, *Nephotettix cincticeps* Uhler, by a sight-count method. Res. Popul. Ecol. 13: 187-200.
- 木谷清美・井上好之利・重松喜昭 (1958) 稲紋枯病における1株苗数および栽植密度と発病との関係について. 病害虫発生予察資料 61: 39-69.
- 木根淵旨光 (1969) 水稲稚苗栽培技術の確立ならびに機械化技術における実証的研究. 東北農試研報 38: 27-60.
- 小林正弘・和田 節 (1979) 筑後地方で観察されたコブノメイガ寄生蜂の種類と寄生率. 九州病害虫研究会報 25: 64-66.
- 熊野誠一・関 寛三・金 忠男 (1985) 水稲の機械移植栽培における代掻きに関する研究. 東北農試研報 72: 1-53.
- 國武正彦・市川儀夫・松本 顕 (1964) 山間湿田における水稲不耕起移植栽培法に関する研究. 新潟県農試研報 14: 1-9.
- Kuno, E. and V. A. Dyck (1985) Dynamics of Philippine and Japanese populations of brown planthopper: comparison of basic characteristics. Chin. J. Entomol. 4: 1-9.
- 倉本 孟・山口富夫 (1968) イネ紋枯病菌核の浮沈について (講要). 日植病報 34: 372.
- 倉本 孟・山口富夫 (1969) イネ紋枯病菌核の浮沈について. 北陸病虫研究会報 17: 3-5.
- 高坂淖爾・孫工弥寿雄 (1958) 稲紋枯病に関する研究(9)—各種環境下における稲耐病性の変化. 日本植物病理学会報 23: 5.
- 高坂淖爾 (1961) 稲紋枯病に関する研究 特に発生生態に関する実験的考察と薬剤防除法について. 中国農業研究 23: 1-133.
- Landis, D. A., J. R. Jr. Bradley and F. Gould (1987) Behavior and survival of *Heliothis zea* prepupae in no-tillage and conventional-tillage corn. Environ. Entomol. 16: 94-99.
- Landis, D. A., S. D. Wratten and G. M. Gurr (2000) Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annu. Rev. Entomol. 45: 175-201.
- Ma, J. and G. Hu (1992) Research on rice leafhopper management in China, 18-23.
- 前田忠信 (2001) 堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田における低農薬栽培した水稲収量の年次変動とその要因. 日作紀 70: 525-529.
- 前田忠信 (2002) 低農薬栽培における栽植密度が水稲の生育, 収量と穂いもち発生に及ぼす影響. 日作紀 71: 50-56.
- 松島省三 (1973) 稲作の改善と技術. 養賢堂, 東京, 393 pp.
- Mew, T. W., Cottyn, B., Pamplona, R., Barrios, H., Xiangmin, L., Zhiyi, C., Fan, L., Nilpanit, N., Arunyanart, P. and P. Van Kim (2004) Applying rice seed-associated antagonistic bacteria to manage rice sheath blight in developing countries. Plant Dis. 88 (5): 557-564.
- 宮下武則 (1985) コブノメイガの要防除水準 I. 出穂期および登熟期の被害率と収量の関係. 応動昆, 29: 73-76.
- 本林 隆・和田 誉・日鷹一雅 (1999) 不耕起水稲栽培の害虫個体群抑制. 日本応用動物昆虫学会第43回大会講演要旨集.
- 本林 隆・成岡由規子・和田 誉・平沢 正 (2004) 不耕起・無代掻き水田で栽培された水稲の乾物生産特性. 日作紀 73(2): 148-156.
- 村田浩平 (1995) 環境保全型水田におけるクモと被食者に関する研究—栽培管理が発生消長に与える影響—. Acta Arachnol. 44: 83-96.
- Murdoch, W. W. and A. Oaten (1975) Predation and population stability. Advances in Ecol. Res. 9: 2-131.
- Nakasuji, F. (1982) population dynamics of the migrant skipper butterfly *Parnara guttata guttata* (Lepidoptera: Hesperidae) II. Survival rates of immature stages in paddy fields. Res. Popul. Ecol. 24: 157-173.
- Nakasuji, F. and V. A. Dyck (1984) Evaluation of the role of *Microvelia douglasi atrolineata* (Bergroth) (Hemiptera: Veliidae) as predator of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). Res. Popul. Ecol. 26: 148-163.
- 長野間 宏・金田吉弘・児玉 徹 (1989) 低湿重粘

- 土水田における汎用化のための下層土の管理 (第1報) —部分耕移植栽培における土壌の変化と水稲生育の特徴—. 東北農業研究 42: 85-86.
- ニプリング, E. F. (1979) [小山重郎・小山晴子訳, 1989] 害虫総合防除の原理. 東海大学出版会, 東京, 357 pp.
- 野々山芳夫・吉澤孝之 (1976) 水稲の不耕起直播栽培に関する土壌肥料学的研究 (第4報) —土壌窒素の発現様式の特徴—. 中国農試報 E 11: 7-51.
- 野々山芳夫 (1981) 水稲の直播栽培に関する土壌肥料学的研究. 中国農試報 E 18: 1-62.
- 農学大辞典編修委員会編 (1987) 農学大辞典 (第2次増訂改版). 養賢堂, 東京, pp.1271-1274.
- Nyffeler, M. and G. Benz (1987) Spiders in natural pest control: a review. J. Appl. Entomol. 103: 321-339.
- 岡武三郎 (1995) 岡山県における不耕起乾田直播栽培. 直播稲作への挑戦 (第3巻) —新しい日本型直播稲作の戦略— (櫛淵欽也監修). 農林水産技術情報協会, 東京, pp.50-55.
- 小川正行・西内美武・山本 馨 (1960) 稲紋枯病の発生環境と防除に関する研究. 高知農試研報 2: 39-44.
- 小野光幸・神崎帛太郎 (1973) 水稲の不耕起作溝機械移植作業法に関する研究. 中国農試報 A 23: 27-52.
- 大畑貫一 (1987) 稲作技術の変遷と病害の発生動態 (2). 植物防疫 41: 318-322.
- 大畑貫一 (1989) 稲の病害. 全国農村教育協会. 東京, pp.565.
- 大川泰一郎・菅 純子・山崎武仁・柳原里子・平沢正 (1999) 登熟期における水稲葉身の窒素含量と光合成速度, リブローズ1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシナーゼ含量の関係および根から地上部に送られるサイトカイニン—日本晴とアケノホシの比較—. 日作紀 68 (別2): 76-77.
- Ookawa, T., Y. Naruoka, T. Yamazaki, J. Suga and T. Hirasawa (2003) A comparison of the accumulation and partitioning of nitrogen in plants between two rice cultivars, Akenohoshi and Nipponbare, at the ripening stage. Plant Prod. Sci. 6: 172-178.
- 大熊千代子 (1974) トラップ・ネットによって捕獲された水田の飛行グモ. 大農芸誌 29: 79-85.
- 大森 正・小野芳郎・川中弘二・坪井 勇 (1970) 稲麦不耕起栽培における土壌肥料学的研究 (第1報) —不耕起の継続が水稲の生育収量及び土壌理化学性に及ぼす影響について—. 岡山県農試臨時報告 65: 1-18.
- Oraze, M. J. and A. A. Grigarick (1989) Biological control of aster leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) and midges (Diptera: Chironomidae) by *Pardosa ramlosa* (Araneae: Lycosidae) in California ricefields. J. Econ. Entomol. 82: 745-749.
- 小山 淳・林 かずよ (1998) 水稲不耕起移植栽培における紋枯病の発生. 北日本病虫研報 49: 40-41.
- 小山 淳・城所 隆・小野 亨 (2002) ニホンアマガエルによる捕食が水田内の昆虫密度に与える影響. 第46回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集.
- 尾崎重夫 (1951) イネツトムシの防除. 農業及び園芸 26: 580-582.
- Paoletti, M. G. (1987) Soil tillage, soil predator dynamics, control of cultivated lant pests. In "Soil fauna and soilfertility", ed. B. R. Stringanova, pp. 417-422. Moscow: Nauka
- Riechert, S. E. and T. Lockley (1984) Spiders as biological control agents. Annu. Rev. Entomol. 29: 299-320.
- Robertson, L. N., B. A. Kettle and G. B. Simpson (1994) The influence of tillage practices on soil macrofauna in northeastern Australia. Agric. Ecosyst. Environ. 48: 149-156.
- 坂井 弘・野々山芳夫・河本 泰 (1968) 水田不耕起栽培に関する土壌肥料学的研究 (第1報) —水稲不耕起栽培の局所施肥による多収化—. 中国農試報 E 2: 193-227.
- 酒井久馬・池田米男・鮫島徳造 (1942) 瘤野螟蛾 (*Cnaphalocricis medinalis* Guenee) の生態および防除に関する研究 (予報). 応昆 4: 1-24.
- 笹波隆文・桐谷圭治・川原幸夫 (1970) クモ類の捕食能力の室内実験による評価法. 応動昆 14: 144-146.
- 佐藤テイ・岸野賢一 (1978) コブノメイガの発生に

- 関する生態学的研究. 東北農業試験場研究報告 58 : 47-80.
- 佐藤照男 (1992) 不耕起栽培による低湿重粘土水田の土地改良と汎用化の展望. 農業土木学会誌 60 : 723-728.
- 佐藤徳雄・渋谷暁一・三枝正彦・阿部篤朗 (1993) 肥効調節型被覆尿素を用いた水稲の全量基肥不耕起直播栽培. 日作紀 62 : 408-413.
- Schmidt, M. H., I. Roschewitz, C. Thies and T. Tschardt (2005) Differential effects of landscape and management on diversity and density of ground-dwelling farmland spiders. J. Appl. Ecol. 42 : 281-287.
- Settle, W. H., H. Ariawan, E. T. Astuti, W. Cahyana, A. L. Hakim, D. Hindayana, A. S. Lestari and Pajarningsih (1996) Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. Ecology 77 : 1975-1988.
- Soejima, H., T. Sugiyama and K. Ishihara 1995. Changes in the chlorophyll contents of leaves and in levels of cytokinins in root exudates during ripening of rice cultivars Nipponbare and Akenohoshi. Plant Cell Physiol. 36 : 1105-1114.
- Solomon, M. E. (1949) The natural control of animal populations. J. Anim. Ecol. 18 : 1-35.
- Someya, N., Nakajima, N., Watanabe, K., Hibi, T. and K. Akutsu (2003). Influence of bacteria isolated from rice plants and rhizospheres on antibiotic production by the antagonistic bacterium *Serratia marcescens* strain B 2. J. Gen. Plant Pathol. 69 (5) : 342-347.
- Southwood, T. R. E. (1978) Ecological Methods. Chapman and Hall, London, 524 pp.
- Stinner, B. J. and G. J. House (1990) Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. Annu. Rev. Entomol. 35 : 299-318.
- Stinner, B. R., D. A. McCartney and D. M. Jr. Van Doren (1988) Soil and foliagearthropod communities in conventional, reduced and no-tillage corn systems : a comparison after 20 years of continuous cropping. Soil Tillage Res. 11 : 147-158.
- 杉本宇吉 (1963) 水稲の不耕起移植栽培法. 農業および園芸 38 : 623-626.
- Sunderland, K. and F. Samu (2000) Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders : a review. Entomol. Exp. Appl. 95 : 1-13.
- Symondson, W. O. C., D. M. Glen, C. W. Wiltshire, C. J. Langdon and J. E. Liddell (1996) Effects of cultivation techniques and methods of straw disposal on predation by *Pterostichus melanarius* (Coleoptera : Carabidae) upon slugs (Gastropoda : Pulmonata) in an arable field. J. Appl. Ecol. 33 : 741-753.
- Symondson, W. O. C., K. D. Sunderland and M. H. Greenstone (2002) Can generalist predators be effective biocontrol agents? Annu. Rev. Entomol. 47 : 561-594.
- 高橋 亨・中山芳明・長谷川正俊 (1990) 復元田における不耕起機械移植栽培. 東北農業研究 43 : 59-60.
- 高橋能彦 (1993) 水稲不耕起移植栽培におけるペー
スト側条施肥の肥料利用率と稲体の窒素吸収特性. 土肥誌 65 : 681-684.
- 田中幸一 (1989) 農耕地におけるクモ類の働き. 植物防疫 43 : 34-39.
- 田中幸一 (2003) 天敵の保護・増強による水稲害虫管理の可能性. 植物防疫 57 : 520-523.
- 田中 正・浜村徹三 (1968) 冬季休閑田におけるクモ類の生息密度. 宇都宮大学農学部学術報告 7 : 73-79.
- 田中 稔 (1983) 深層追肥の再認識. 農業及び園芸 58 : 1023-1028, 1135-1140, 1263-1267, 1376-1380, 1491-1494.
- 富久保男 (1994) 水稲の乾田不耕起直播栽培. 農業および園芸 69(9) : 991-995.
- 上田正夫 (1990) 1. 葉色測定法 1) 水稲. 植物実験法 (植物栄養実験法編集委員会編). 講談社, 東京, pp. 229-243.
- 和田 節・島津光明 (1978) 1977年筑後におけるコブノメイガの発生消長. 九州病害虫研究会報 24 : 77-79.
- 和田 節・小林正弘 (1980) 本年多発したコブノメイガとその発生生態. 植物防疫, 34 : 528-532.
- 若林 確・西岡均平・栗山光春 (1963) 水稲穴播直播栽培について. 中国農業研究 26 : 8-9.
- Wardle, D. A. (1995) Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of con-

- trasting tillage and weed management practices. *Adv. Ecol. Res.* 26 : 105-182.
- Way, M. J. and K. L. Heong (1994) The role of biodiversity in the dynamics and management of insect pests of tropical irrigated rice – a review. *Bull. Entomol. Res.* 84 : 567-587.
- Wilocquet, L., Fernandez, L. and S. Savary (2000) Effect of various crop establishment methods practiced by Asian farmers on epidemics of rice sheath blight caused *Rhizoctonia solani*. *Plant Pathol.* 49 (3) : 346-354.
- Wiwattanpatapee, R., Pengnoo, A., Kanjanamanee-sathian, M., Matchavanich, W., Nilratana, L. and A. Jantharangsri (2004) Floating pellets containing bacterial antagonist for control sheath blight of rice : formulation, viability and bacterial release studies. *Journal of Controlled Release* 95 (3) : 455-462.
- 山口富夫 (1964) 直播栽培における稲紋枯病菌核の進入前の動向について. *北陸病虫研会報* 12 : 17-19.

研究資料

FM 多摩丘陵の 1 ha 固定調査区における
毎木調査および植生調査資料長谷川奈美^{*1}・星野 義延^{*2}・渡辺 直明^{*3}・原 宏^{*4}Tree census and vegetation survey of 1 ha LTER plot in
FM TamakyuryoNami HASEGAWA^{*1}, Yoshinobu HOSHINO^{*2}, Naoaki WATANABE^{*3} and Hiroshi HARA^{*3}

The study plot (100 m × 100 m) for a long term ecological monitoring of forest ecosystem was located at the Field Museum Tamakyuryo which has a typical remnant satoyama landscape in Tokyo. We investigated girth at breast height (GBH) and tree height of woody stems with a GBH of more than 15 cm in order to clarify the forest structure in 2005. In 2006 we also recorded the composition of all vascular plants in 100 subquadrats of 10 m × 10 m each by releve sampling method. Result of tree census totally 919 tree stems were recognized. On the basis of the basal area of the trees, *Quercus serrata* was found to be the most dominant tree species. The number of plant species recorded in the plot was 252, which included some endangered species such as *Galium niiewrthii*, *Cephalanthera falcata*, and *Calanthe discolor*. The most abounding forest canopy type was *Quercus serrata* type which occupied nearly half of the subquadrats. The other canopy type often occurred in the plot was *Cryptomeria japonica* plantation. According to the classification of two way indicator species analysis (TWINSPAN), the subquadrats were divided into 8 major types.

Key words : Coppies of *Quercus serrata*, *Cryptomeria japonica* plantation, TWINSPAN, Dominant type, Flora

キーワード：コナラ雑木林，スギ植林，TWINSPAN，優占型，フロラ

1. はじめに

長期生態モニタリング (LTER: Long-Term Ecological Research) による生態系に関する継続的なデータの蓄積は、環境変化を予測し管理していく上で重要である。日本における長期的な研究をおこなうフィールドとして、大学演習林などの野外研究施設はさまざまな条件を満たしており、東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター (FS センター) においても、気象・生物・地球環境についていくつかの長期的モニタリングを開始・継続している。その研究対象項目や期間、公表資料は岸 (2003) にまとめられている。こ

のうち、植物に関する項目はFM (フィールドミュージアム) 草木, FM 大谷山, FM 唐沢山, FM 秩父の森林系の4つのFMで主におこなわれており、森林を構成する樹種・林齢・本数や蓄積・地況などのデータが森林簿に記帳されている (岸 2003)。

東京農工大学にフィールドミュージアムのひとつであるFM 多摩丘陵は、東京都八王子市堀之内にあり、多摩丘陵の西北端に位置している。周囲を市街地に取り囲まれており、コナラ雑木林・スギ植林・クリ果樹園・実験用草地などを有する。かつてFM 多摩丘陵は、「波丘地」と呼称される小起伏のある土地において、農業・林業・畜産業・園芸など

*1 東京農工大学大学院農学府，現入間市役所

*2 東京農工大学大学院共生科学技術研究院

*3 東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター

を一段と向上させるための研究用地として考えられていた(中島 1958)。平地と山岳地の中間的性質を持ち、農用林的性格を持つ(中島 1958)という点で、上記の森林系FMとは異なる特徴をもっている。

このため、過去には波丘地環境での森林施業を目的としたスギ・ヒノキ林において肥培実験(杉本ら 1968)などの研究や、牧草地としての利用を目指した有毒植物の調査(近藤・高水 1968)などの効率的かつ持続的な生産を目指した研究がおこなわれてきた。しかし、日本の農地や里山をめぐる状況は一変し、現在は、アズマネザサの繁茂(星野・八木 2001)など、農用林の管理放棄に起因する諸現象が顕在化しており、生物多様性保全に配慮した里山の管理方法に関する研究の場として、自然や環境にかかわるさまざまな研究が行われている(土器屋ら 2001)。FM多摩丘陵において固定調査区を設置し、植物に関する生態的な長期モニタリングを開始することは、経年的な樹木の成長や植物の種組成変化に関する科学的データの蓄積につながり、これからの里山管理を考えていく上での有益な資料を提供すると考える。

本研究はFM多摩丘陵の南西部に1haの固定調査区を設置し、長期モニタリングの第一回目となる毎木調査と植生調査の資料を公表するものである。

シダ植物以上の高等植物を対象とした植生調査は、FM草木における研究(星野 1994)があるが、FM多摩丘陵においては公表されたものはない。本調査資料と今後の追跡調査によって里山の構成樹種の変化、草本も含めた植物種組成の変化を追うことができると期待される。里山管理の諸問題を解決するためのさまざまな研究の資料として役立てていきたい。

現地調査にあたり、東京農工大学植生管理学研究室のメンバーに手伝って頂いた。また、とうきゅう環境浄化財団には研究助成をして頂いた。ここに記して感謝したい。

2. 調査方法

2-1. 固定調査区設置

FM多摩丘陵南西部に1haの固定調査区を設置した(図1)。固定調査区はさらに10m四方のコドラート100個に分け、コドラートの四隅に杭を打ち込んだ。杭にはA0~K10の名前を付け、コドラートは四隅の杭のうち最も若いアルファベットと番号の名前で呼ぶこととした(図2)。

1ha固定調査区内には、コナラ雑木林、スギ植林と、冠雪被害により倒木したヒノキ林の跡地がある。地形は、小規模だが急斜面の谷と尾根が含まれている。

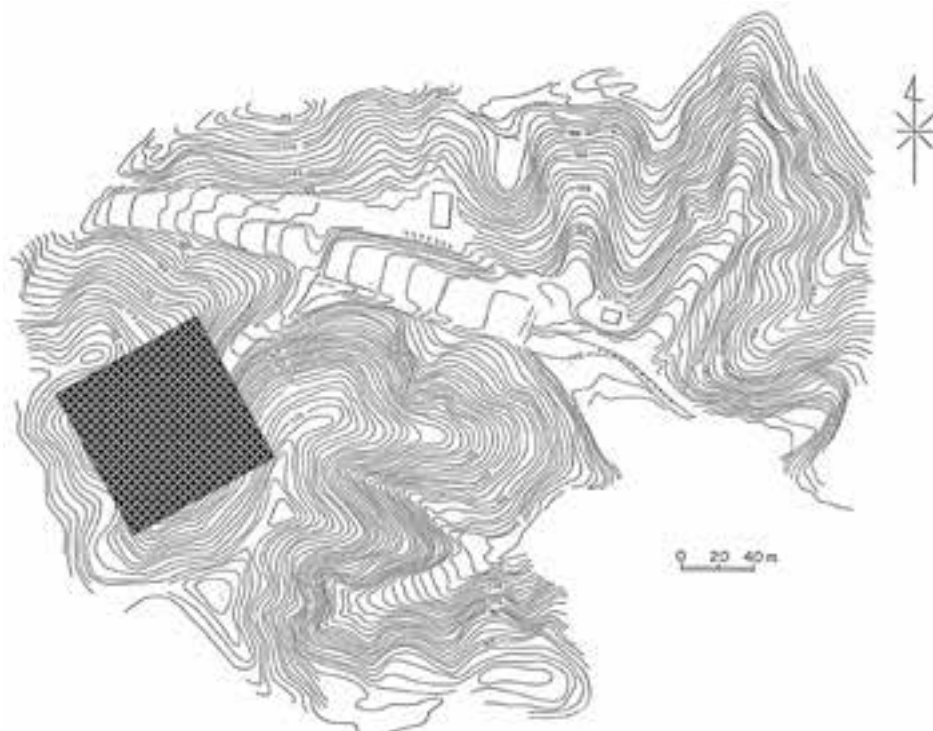


図1 固定調査区位置図

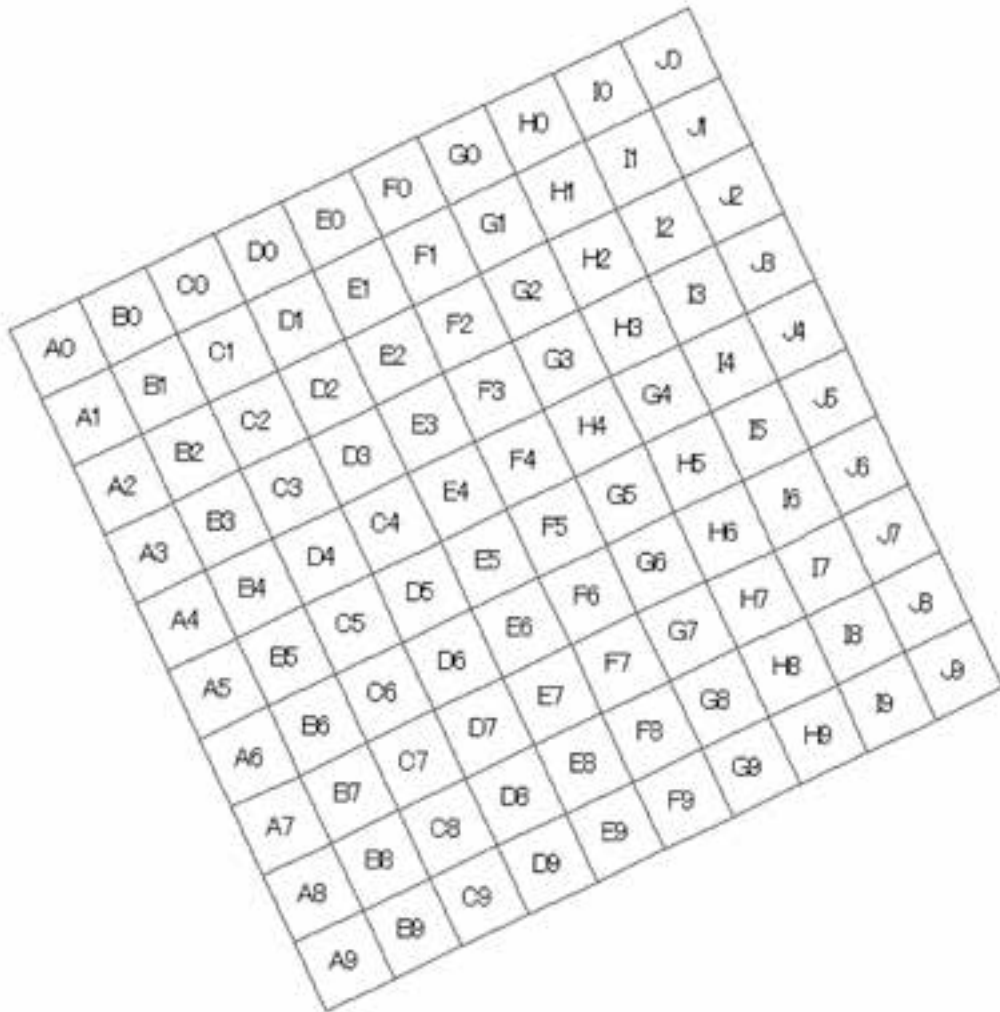


図2 コドラートの位置と名前

2004年に2 mにも伸びていたアズマネザサを刈る管理がおこなわれた。その後も一部で草刈りのおこなわれた跡が見られる。

2-2. 毎木調査

毎木調査は10 m四方の各コドラート内に生育する胸高周囲長15 cm以上の樹木幹について、種名、胸高周囲長、樹高を記録した。毎木調査は2005年11月23日、2006年5月1日、15日におこなった。

2-3. 植生調査

植生調査、10 m四方の各コドラートについて、植物社会学的手法に従い高木層から草本層までの必要に応じた階層に分け、階層ごとに出現したシダ植物以上の高等植物種をリストアップし、被度を記録した。被度階級はLondoの十進階級法（Londo 1976）を用い、被度階級が1未満の場合には数度も記録した（表1）。また、各階層の高さおよび植被

率を記録した。植生調査は2006年9月10日、11日におこなった。

3. 解析方法

3-1. 毎木調査データの解析

毎木調査データに基づき、調査対象となった胸高周囲長15 cm以上の樹木幹について生活型別に種数、生幹数、樹高平均値、胸高周囲長平均値、胸高断面積平均値を算出した。同じく、樹種別に生幹数、樹高平均値、胸高周囲長平均値、胸高断面積平均値を算出し、樹高階分布、胸高周囲階分布を求めた。

3-2. 植生調査データの解析

植生調査データの最上層の被度を用いて、優占種判定法（Ohsawa 1984）によりコドラートの優占種を判定した。ただし、最上層の被度が2以下のコドラートは亜高木層や低木層も参考にした。

表1 Londoの十進階級法

被度の基準
.1: 被度0.5~1%
.2: 1~3%
.4: 3~5%
1: 5~15%
2: 15~25%
3: 25~35%
4: 35~45%
5: 45~55%
6: 55~65%
7: 65~75%
8: 75~85%
9: 85~95%
10: 95~100%
数度の基準
r: 稀, 孤立的
p: ややまばら
a: 多い
m: 非常に多い

Londoの十進階級法に基づいて用いた被度と数度の基準。被度の.1, .2, .4の「(小数点)」部分に数度のr, p, a, mを付加して用いる。被度が5%を超えるものでは数度は示さない。

植生調査データより、出現した植物種のフロラリストを作成した。学名は米倉・梶田(2003)に従った。また、コドラートに出現した種の有る無しに基づき、TWINSPAN法(Hill 1979)によりコドラートの植生を分類した。TWINSPAN法にはPC-ORD ver. 4.33(McCune & Mefford 1999)を用いた。

3. 結果

3-1. 毎木調査

1 haの固定調査区で毎木調査対象となった胸高周囲長15 cm以上の樹木は41種あり、919本の生幹が記録された(表2)。

生活型ごとに見ると、落葉広葉樹の種数が32種と最も多く、幹数でも全体の7割近くを占めた(表3)。常緑広葉樹はヒサカキなど6種があり樹高平均値、胸高周囲長平均値、胸高断面積とも最も低かった。常緑針葉樹はスギ、ヒノキ、モミの3種のみで種数は最も少なかったが、幹数が多く、樹高平均値や胸高周囲長平均値は最も高かった(表2, 表3)。

樹種ごとに見ると、生幹数が最も多いのはコナラで224本あり、次いでスギが153本、アカシデが106本、エゴノキが71本あった(表2)。

樹高階20 m以上の本数割合ではスギが51%、コナラが36%を占め、樹高階15~20 mでもスギが24%、コナラが53%を占めており、高木層のほとんどをスギとコナラが占めていた(表4)。樹高階別生幹数を見るとスギとコナラは樹高15 m以上にまで成長している幹が多く、10 m未満の生幹数は少なかった(表4)。樹高20 m以上の成長を見せている樹種はスギとコナラの他にイヌシデ、ヒノキ、コブシ、ヤマザクラ、クヌギ、フジがある。樹高階5~10 mの範囲ではアカシデ(26%, 80本)、エゴノキ(17%, 51本)が特に高い生幹数割合を占め、ウワミズザクラ(9%, 28本)、アオハダ(7%, 21本)、ムラサキシキブ(5%, 14本)も比較的多かった。5 m未満の低木層には22樹種が記録され、常緑広葉樹であるヒサカキ(36%, 41本)、イヌツゲ(16%, 18本)が際立って多かった。

コナラは周囲長階別に見ても90 cm以上ある幹が80本以上と多く、45 cm未満の個体は非常に少なかった(表5)。ヤマザクラは胸高周囲長平均値が最も高く、135 cm以上にまで大きく成長している個体が最も多かった(表5)。

各コドラートに出現した樹種別本数を表6にまとめた。コナラは出現するコドラート数も最も多く57コドラートに出現した。次いで多いのはアカシデ、エゴノキといったコナラとともに出現する樹種であった。スギは22コドラートに出現した。また、エンコウカエデのように1コドラートにしか出現しない樹種もあった。

3-2. 植生調査

1 haの固定調査区で76科、252種の植物が記録された(表7)。

この中では東京都の保護上重要な野生生物種に指定されているタマノカンアオイ、環境省の絶滅危惧種に指定されているエビネ、キンランも含まれた。また、ヒイラギナンテン、ファイリアオキといった園芸種や緑化樹も出現した。

優占種判定法により、各コドラートの優占種を判定した結果を表8に示し、判定された優占種別のコドラート数を表9に示した。多くのコドラートが1~3種で優占する型と判定され、コナラの1種優占型は49コドラートを占め、最も多かった(表9)。

表 2 毎木調査の対象となった樹木の樹種別の生幹数, 樹高平均値, 胸高周囲長平均値と胸高断面積合計

学名	種名	生幹数	樹高平均値(m)	胸高周囲長平均値(cm)	胸高断面積合計値(cm ²)
<i>Abies firma</i>	モミ	4 (0%)	4.68	25.28	206.81
<i>Acer mono</i> f. <i>dissectum</i>	エンコウカエデ	7 (1%)	13.99	53.77	2032.99
<i>Acer palmatum</i> var. <i>amoenum</i>	オオモミジ	4 (0%)	6.98	19.23	119.68
<i>Aphananthe aspera</i>	ムクノキ	2 (0%)	12.75	42.50	306.89
<i>Aucuba japonica</i>	アオキ	1 (0%)	3.80	15.50	19.13
<i>Callicarpa japonica</i>	ムラサキシキブ	21 (2%)	5.05	18.16	570.60
<i>Carpinus japonica</i>	クマシデ	11 (1%)	6.41	32.15	1080.74
<i>Carpinus laxiflora</i>	アカシデ	106 (12%)	8.28	28.57	8489.81
<i>Carpinus tschonoskii</i>	イヌシデ	15 (2%)	13.15	60.21	6106.10
<i>Celtis sinensis</i> var. <i>japonica</i>	エノキ	3 (0%)	10.57	42.60	608.45
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	26 (3%)	13.20	55.70	7706.74
<i>Cornus brachypoda</i>	クマノミズキ	17 (2%)	11.89	72.04	9509.32
<i>Cornus controversa</i>	ミズキ	2 (0%)	6.10	18.40	55.75
<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	153 (17%)	17.67	74.04	73401.88
<i>Dendropanax trifidus</i>	カクレミノ	9 (1%)	5.29	22.29	387.86
<i>Diospyros kaki</i>	カキノキ	4 (0%)	5.63	21.83	164.50
<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ	51 (6%)	4.20	19.74	1650.72
<i>Euscaphis japonica</i>	ゴンズイ	1 (0%)	6.40	17.50	24.38
<i>Fraxinus longicuspis</i>	ヤマトアオダモ	1 (0%)	8.00	35.00	97.53
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	マルバアオダモ	3 (0%)	9.07	28.57	224.66
<i>Ilex crenata</i>	イヌツゲ	23 (3%)	4.19	22.02	980.10
<i>Ilex macropoda</i>	アオハダ	30 (3%)	6.35	23.95	1469.16
<i>Kalopanax pictus</i>	ハリギリ	3 (0%)	15.00	73.17	1559.46
<i>Ligustrum japonicum</i>	ネズミモチ	15 (2%)	4.98	17.99	390.96
<i>Lindera glauca</i>	ヤマコウバシ	1 (0%)	4.20	16.50	21.68
<i>Magnolia kobus</i>	コブシ	5 (1%)	9.40	17.08	121.23
<i>Magnolia obovata</i>	ホオノキ	10 (1%)	11.43	43.84	1978.71
<i>Mallotus japonicus</i>	アカメガシワ	7 (1%)	8.81	33.64	666.86
<i>Prunus grayana</i>	ウワミズザクラ	38 (4%)	8.28	31.89	4367.47
<i>Prunus jamasakura</i>	ヤマザクラ	18 (2%)	17.42	109.11	18442.82
<i>Prunus pendula</i> f. <i>ascendens</i>	エドヒガン	1 (0%)	4.00	21.60	37.15
<i>Quercus acutissima</i>	クヌギ	11 (1%)	16.05	94.46	8200.82
<i>Quercus glauca</i>	アラカシ	5 (1%)	5.18	23.40	220.12
<i>Quercus serrata</i>	コナラ	224 (24%)	17.22	89.75	221570.22
<i>Rhus javanica</i>	ヌルデ	1 (0%)	6.40	22.80	41.39
<i>Rhus trichocarpa</i>	ヤマウルシ	6 (1%)	6.33	22.18	245.37
<i>Styrax japonica</i>	エゴノキ	71 (8%)	8.02	31.56	6538.90
<i>Viburnum plicatum</i> var. <i>tomentosum</i>	ヤブデマリ	2 (0%)	4.50	19.95	63.71
<i>Wisteria floribunda</i>	フジ	2 (0%)	19.00	24.45	99.92
<i>Zanthoxylum ailanthoides</i>	カラスザンショウ	2 (0%)	8.15	38.05	242.46
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	サンショウ	3 (0%)	3.67	16.27	63.56

表 3 生活型 (常緑広葉樹, 落葉広葉樹, 常緑針葉樹) 別の種数, 生幹数, 胸高周囲長平均値, 樹高平均値と胸高断面積合計

生活型	種数	生幹数	樹高平均値(m)	胸高周囲長平均値(cm)	胸高断面積合計値(cm ²)
常緑広葉樹	6	104 (11%)	4.61	20.16	3648.90
落葉広葉樹	32	632 (69%)	9.33	38.15	295122.28
常緑針葉樹	3	183 (20%)	11.85	51.67	81315.43
総計	41	919	12.03	54.93	380086.61

表4 毎木調査の対象となった樹木の樹高 (m) 階別生幹数

学名	種名	5 m 未満	5~10 m	10~15 m	15~20 m	20 m 以上
<i>Abies firma</i>	モミ	3	1			
<i>Acer mono</i> f. <i>dissectum</i>	エンコウカエデ		1	2	4	
<i>Acer palmatum</i> var. <i>amoenum</i>	オオモミジ		4			
<i>Aphananthe aspera</i>	ムクノキ		1		1	
<i>Aucuba japonica</i>	アオキ	1				
<i>Callicarpa japonica</i>	ムラサキシキブ	7	14			
<i>Carpinus japonica</i>	クマシデ	2	8	1		
<i>Carpinus laxiflora</i>	アカシデ	4	80	18	4	
<i>Carpinus tschonoskii</i>	イヌシデ		6	2	3	4
<i>Celtis sinensis</i> var. <i>japonica</i>	エノキ		2		1	
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ	1	9	1	12	3
<i>Cornus brachypoda</i>	クマノミズキ	2	4	2	9	
<i>Cornus controversa</i>	ミズキ		2			
<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	4	4	17	66	62
<i>Dendropanax trifidus</i>	カクレミノ	1	8			
<i>Diospyros kaki</i>	カキノキ	1	3			
<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ	41	9		1	
<i>Euscaphis japonica</i>	ゴンズイ		1			
<i>Fraxinus longicuspis</i>	ヤマトアオダモ		1			
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	マルバアオダモ		2	1		
<i>Ilex crenata</i>	イヌツゲ	18	5			
<i>Ilex macropoda</i>	アオハダ	7	21	2		
<i>Kalopanax pictus</i>	ハリギリ			1	2	
<i>Ligustrum japonicum</i>	ネズミモチ	7	8			
<i>Lindera glauca</i>	ヤマコウバシ	1				
<i>Magnolia kobus</i>	コブシ		4			1
<i>Magnolia obovata</i>	ホオノキ		5	2	3	
<i>Mallotus japonicus</i>	アカメガシワ		7			
<i>Prunus grayana</i>	ウワミズザクラ	4	28	3	3	
<i>Prunus jamasakura</i>	ヤマザクラ		1	1	12	4
<i>Prunus pendula</i> f. <i>ascendens</i>	エドヒガン	1				
<i>Quercus acutissima</i>	クヌギ		2	1	5	3
<i>Quercus glauca</i>	アラカシ	2	3			
<i>Quercus serrata</i>	コナラ		4	31	145	44
<i>Rhus javanica</i>	ヌルデ		1			
<i>Rhus trichocarpa</i>	ヤマウルシ	1	5			
<i>Styrax japonica</i>	エゴノキ	3	51	14	3	
<i>Viburnum plicatum</i> var. <i>tomentosum</i>	ヤブデマリ	1	1			
<i>Wisteria floribunda</i>	フジ				1	1
<i>Zanthoxylum ailanthoides</i>	カラスザンショウ		2			
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	サンショウ	3				
計		115	308	99	275	122

次いでスギの1種優占型が15コドラートと多かった。他に優占種となった樹種はクヌギ、ヤマザクラ、クマノミズキ、エンコウカエデ、イヌシデ、ウワミズザクラ、ホオノキ、ハリギリ、ミズキがあった。コドラートG9, H9, I8, I9, J7, J8は

最上層の被度が2以下しかなく、亜高木層、低木層の出現種も被度階級3以下の種が多種出現したため、多種優占型とした(表8, 表9)。多種優占型ではスギ、ヒノキ、ウワミズザクラの他に、アカメガシワ、カクレミノ、ヌルデ、カラスザンショウと

表 5 毎木調査の対象となった樹木の胸高周囲長 (cm) 階別生幹数

学名	種名	15未満	15~30	30~45	45~60	60~75	75~90	90~105	105~120	120~135	135以上
<i>Abies firma</i>	モミ		4								
<i>Acer mono</i> f. <i>dissectum</i>	エシコウカエデ		1	3	1			2			
<i>Acer palmatum</i> var. <i>amoenum</i>	オオモミジ		4								
<i>Aphananthe aspera</i>	ムクノキ			1	1						
<i>Aucuba japonica</i>	アオキ		1								
<i>Callicarpa japonica</i>	ムラサキシキブ	1									
<i>Carpinus japonica</i>	クマシデ		8	1	1	1					
<i>Carpinus laxiflora</i>	アカシデ	2	71	18	10	3	2				
<i>Carpinus tschonoskii</i>	イヌシデ	1	4	2		2	2	1	2	1	
<i>Celtis sinensis</i> var. <i>japonica</i>	エノキ		2				1				
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ		6	3	4	7	4	2			
<i>Cornus brachypoda</i>	クマノミズキ		4	1	1	2	3	2	2	1	
<i>Cornus controversa</i>	ミズキ		2								
<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ	1	2	9	3	37	36	25	8	3	2
<i>Dendropanax trifidus</i>	カクレミノ		8	1							
<i>Diospyros kaki</i>	カキノキ		4								
<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ	3	46	2							
<i>Euscaphis japonica</i>	ゴンズイ		1								
<i>Fraxinus longicuspis</i>	ヤマトアオダモ		2	1							
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	マルバアオダモ		2	1							
<i>Ilex crenata</i>	イヌツゲ	3	17	3							
<i>Ilex macropoda</i>	アオハダ	2	22	6							
<i>Kalopanax pictus</i>	ハリギリ		1				1		1		
<i>Ligustrum japonicum</i>	ネズミモチ	1	14								
<i>Lindera glauca</i>	ヤマコウバシ		1								
<i>Magnolia kobus</i>	コブシ	2	3								
<i>Magnolia obovata</i>	ホオノキ		3	3	2	1		1			
<i>Mallotus japonicus</i>	アカメガシワ		2	4	1						
<i>Prunus grayana</i>	ウワミズザクラ		26	7	2	1	1			1	
<i>Prunus jamasakura</i>	ヤマザクラ		1		1		3	6	3		3
<i>Prunus pendula</i> f. <i>ascendens</i>	エドヒガン										
<i>Quercus acutissima</i>	クヌギ		5		1		4	2	2		
<i>Quercus glauca</i>	アラカシ		1	3	25	48	60	34	35	14	3
<i>Quercus serrata</i>	コナラ		1								
<i>Rhus javanica</i>	ヌルデ		1								
<i>Rhus trichocarpa</i>	ヤマウルシ		5	1							
<i>Styrax japonica</i>	エゴノキ	3	38	15							
<i>Viburnum plicatum</i> var. <i>tomentosum</i>	ヤブデマリ		2								
<i>Wisteria floribunda</i>	フジ		2								
<i>Zanthoxylum ailanthoides</i>	カラスザンシヨウ		1								
<i>Zanthoxylum piperitum</i>	サンシヨウ		3								
計		19	338	85	96	102	117	75	53	22	8

表7 固定調査区内のフロラリスト

科名	学名	種名
ゼンマイ科 Osumundaceae	<i>Osmunda japonica</i>	ゼンマイ
イノモトソウ科 Pteridaceae	<i>Coniogramme intermedia</i>	イワガネゼンマイ
	<i>Dennstaedtia scabra</i>	コバノイシカグマ
	<i>Microlepia marginata</i>	フモトシダ
	<i>Pteris cretica</i>	オオバノイノモトソウ
	<i>Pteris multifida</i>	イノモトソウ
オシダ科 Dryopteridaceae	<i>Arachniodes rhomboides</i>	オオカナワラビ
	<i>Arachniodes standishii</i>	リョウメンシダ
	<i>Athyrium niponicum</i>	イヌワラビ
	<i>Athyrium vidalii</i>	ヤマイヌワラビ
	<i>Deparia conilii</i>	ホソバシケシダ
	<i>Deparia japonica</i>	シケシダ
	<i>Deparia okuboana</i>	オオヒメワラビ
	<i>Deparia pseudo-conilii</i>	フモトシケシダ
	<i>Diplazium squamigerum</i>	キヨタキシダ
	<i>Dryopteris bissetiana</i>	ヤマイタチシダ
	<i>Dryopteris chinensis</i>	ミサキカグマ
	<i>Dryopteris erythrosora</i>	ベニシダ
	<i>Dryopteris erythrosora</i> var. <i>dilatata</i>	トウゴクシダ
	<i>Dryopteris fuscipes</i>	マルバベニシダ
	<i>Dryopteris hikonensis</i>	オオイタチシダ
	<i>Dryopteris hondoensis</i>	オオベニシダ
	<i>Dryopteris lacera</i>	クマワラビ
	<i>Dryopteris uniformis</i>	オクマワラビ
	<i>Dryopteris x mituui</i>	アイノコクマワラビ
	<i>Leptogramma mollissima</i>	ミゾシダ
	<i>Macrothelypteris viridifrons</i>	ミドリヒメワラビ
	<i>Metathelypteris laxa</i>	ヤワラシダ
	<i>Parathelypteris japonica</i>	ハリガネワラビ
	<i>Polystichum fibrilloso-paleaceum</i>	アスカイノデ
	<i>Polystichum longifrons</i>	アイアスカイノデ
	<i>Polystichum x miuranum</i>	ミウライノデ
	<i>Leptorumohra miqueliana</i>	ホソバナライシダ
イチョウ科 Ginkgoaceae	<i>Ginkgo biloba</i>	イチョウ
マツ科 Pinaceae	<i>Abies firma</i>	モミ
スギ科 Taxodiaceae	<i>Cryptomeria japonica</i>	スギ
ヒノキ科 Cupressaceae	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	ヒノキ
イネ科 Gramineae	<i>Pleiblastus chino</i>	アズマネザサ
	<i>Festuca parvigluma</i>	トボシガラ
	<i>Oplismenus undulatifolius</i>	ケチヂミザサ
	<i>Oplismenus undulatifolius</i> var. <i>japonicus</i>	コチヂミザサ
	<i>Miscanthus sinensis</i>	ススキ
カヤツリグサ科 Cyperaceae	<i>Carex dolichostachya</i> var. <i>glaberrima</i>	ミヤマカンスゲ
	<i>Carex conica</i>	ヒメカンスゲ
	<i>Carex japonica</i>	ヒゴクサ
	<i>Carex doniana</i>	シラスゲ
	<i>Carex lenta</i> var. <i>lenta</i>	ナキリスゲ
	<i>Carex transversa</i>	ヤワラスゲ
ヤシ科 Palmae	<i>Trachycarpus fortunei</i>	シュロ
サトイモ科 Araceae	<i>Arisaema japonicum</i>	マムシグサ
ツユクサ科 Commelinaceae	<i>Commelina communis</i>	ツユクサ
ユリ科 Liliaceae	<i>Tricyrtis macropoda</i>	ヤマホトトギス
	<i>Hosta montana</i>	オオバギボウシ
	<i>Lilium auratum</i>	ヤマユリ
	<i>Polygonatum lasianthum</i>	ミヤマナルコユリ
	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>	アマドコロ
	<i>Polygonatum falcatum</i>	ナルコユリ
	<i>Disporum sessile</i>	ホウチャクソウ

	<i>Disporum smilacinum</i>	チゴユリ
	<i>Reineckea carnea</i>	キチジョウソウ
	<i>Rohdea japonica</i>	オモト
	<i>Liriope platyphylla</i>	ヤブラン
	<i>Ophiopogon planiscapus</i>	オオバジャノヒゲ
	<i>Ophiopogon japonicus</i>	ジャノヒゲ
	<i>Smilax riparia</i> var. <i>ussuriensis</i>	シオデ
	<i>Smilax china</i>	サルトリイバラ
	<i>Smilax sieboldii</i>	ヤマカシユウ
ヤマノイモ科 Dioscoreaceae	<i>Dioscorea japonica</i>	ヤマノイモ
	<i>Dioscorea tokoro</i>	オニドコロ
	<i>Dioscorea tenuipes</i>	ヒメドコロ
ラン科 Orchidaceae	<i>Lecanorchis nigricans</i>	クロムヨウラン
	<i>Cephalanthera falcata</i>	キンラン
	<i>Calanthe discolor</i>	エビネ
	<i>Cymbidium goeringii</i>	シュンラン
ドクダミ科 Saururaceae	<i>Houttuynia cordata</i>	ドクダミ
センリョウ科 Chloranthaceae	<i>Chloranthus serratus</i>	フタリシズカ
カバノキ科 Betulaceae	<i>Carpinus tschonoskii</i>	イヌシデ
	<i>Carpinus laxiflora</i>	アカシデ
	<i>Carpinus japonica</i>	クマシデ
ブナ科 Fagaceae	<i>Quercus myrsinaefolia</i>	シラカシ
	<i>Quercus glauca</i>	アラカシ
	<i>Quercus serrata</i>	コナラ
	<i>Quercus acutissima</i>	クヌギ
	<i>Castanea crenata</i>	クリ
ニレ科 Ulmaceae	<i>Zelkova serrata</i>	ケヤキ
	<i>Celtis sinensis</i> var. <i>japonica</i>	エノキ
	<i>Aphananthe aspera</i>	ムクノキ
クワ科 Moraceae	<i>Morus bombycis</i>	ヤマグワ
	<i>Broussonetia kazinoki</i>	ヒメコウゾ
イラクサ科 Urticaceae	<i>Pilea mongolica</i>	アオミズ
	<i>Boehmeria nipononivea</i>	カラムシ
	<i>Boehmeria gracilis</i>	オオバコアカソ
ウマノスズクサ科 Aristolochiaceae	<i>Asarum tamaense</i>	タマノカンアオイ
タデ科 Polygonaceae	<i>Polygonum filiforme</i>	ミズヒキ
	<i>Polygonum thunbergii</i>	ミゾソバ
	<i>Polygonum longisetum</i>	イヌタデ
ヒユ科 Amaranthaceae	<i>Achyranthes japonica</i>	ヒカゲイノコズチ
	<i>Achyranthes fauriei</i>	ヒナタイノコズチ
ヤマゴボウ科 Phytolaccaceae	<i>Phytolacca americana</i>	ヨウシュヤマゴボウ
キンポウゲ科 Ranunculaceae	<i>Clematis japonica</i>	ハンショウヅル
	<i>Clematis apiifolia</i>	ボタンヅル
	<i>Clematis terniflora</i>	センニンソウ
	<i>Anemone nikoensis</i>	イチリンソウ
	<i>Cimicifuga simplex</i>	サラシナショウマ
	<i>Cimicifuga japonica</i>	イヌショウマ
アケビ科 Lardizabalaceae	<i>Akebia trifoliata</i>	ミツバアケビ
メギ科 Berberidaceae	<i>Berberis thunbergii</i>	メギ
	<i>Nandina domestica</i>	ナンテン
	<i>Mahonia japonica</i>	ヒイラギナンテン
ツヅラフジ科 Menispermaceae	<i>Cocculus orbiculatus</i>	アオツヅラフジ
モクレン科 Magnoliaceae	<i>Magnolia obovata</i>	ホオノキ
	<i>Magnolia kobus</i>	コブシ
	<i>Kadsura japonica</i>	サネカズラ
クスノキ科 Lauraceae	<i>Lindera glauca</i>	ヤマコウバシ
	<i>Lindera umbellata</i>	クロモジ
	<i>Neolitsea sericea</i>	シロダモ
ケシ科 Papaveraceae	<i>Macleaya cordata</i>	タケニグサ
ユキノシタ科 Saxifragaceae	<i>Astilbe microphylla</i>	チダケサシ

	<i>Astilbe thunbergii</i>	アカシヨウマ
	<i>Astilbe thunbergii</i> var. <i>congesta</i>	トリアシヨウマ
	<i>Hydrangea macrophylla</i> var. <i>acuminata</i>	ヤマアジサイ
バラ科 Rosaceae	<i>Deutzia scabra</i> var. <i>scabra</i>	マルバウツギ
	<i>Stephanandra incisa</i>	コゴメウツギ
	<i>Duchesnea chrysantha</i>	ヘビイチゴ
	<i>Rubus microphyllus</i>	ニガイチゴ
	<i>Rubus crataegifolius</i>	クマイチゴ
	<i>Rubus palmatus</i> var. <i>coptophyllus</i>	モミジイチゴ
	<i>Agrimonia japonica</i>	キンミズヒキ
	<i>Rosa multiflora</i>	ノイバラ
	<i>Prunus jamasakura</i>	ヤマザクラ
	<i>Prunus grayana</i>	ウワミズザクラ
	<i>Prunus buergeriana</i>	イヌザクラ
	<i>Pourthiaea villosa</i> var. <i>laevis</i>	カマツカ
	<i>Rosa onoei</i> Makino var. <i>oligantha</i>	ヤマテリハノイバラ
マメ科 Leguminosae	<i>Albizia julibrissin</i>	ネムノキ
	<i>Desmodium oxyphyllum</i>	ヌスビトハギ
	<i>Rhynchosia acuminatifolia</i>	オオバタンキリマメ
	<i>Dumasia truncata</i>	ノササゲ
	<i>Pueraria lobata</i>	クズ
	<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>japonica</i>	ヤブマメ
	<i>Wisteria floribunda</i>	フジ
カタバミ科 Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i>	カタバミ
ミカン科 Rutaceae	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	サンシヨウ
	<i>Zanthoxylum ailanthoides</i>	カラスザンシヨウ
ニガキ科 Simaroubaceae	<i>Picrasma quassioides</i>	ニガキ
トウダイグサ科 Euphorbiaceae	<i>Mallotus japonicus</i>	アカメガシワ
ウルシ科 Anacardiaceae	<i>Rhus trichocarpa</i>	ヤマウルシ
	<i>Rhus javanica</i>	ヌルデ
	<i>Rhus succedanea</i>	ハゼノキ
モチノキ科 Aquifoliaceae	<i>Ilex macropoda</i>	アオハダ
	<i>Ilex serrata</i>	ウメモドキ
	<i>Ilex crenata</i>	イヌツゲ
	<i>Ilex rotunda</i>	クロガネモチ
	<i>Ilex integra</i>	モチノキ
ニシキギ科 Celastraceae	<i>Celastrus orbiculatus</i>	ツルウメモドキ
	<i>Euonymus alatus</i>	ニシキギ
	<i>Euonymus alatus</i> f. <i>ciliato-dentatus</i>	コマユミ
	<i>Euonymus sieboldianus</i>	マユミ
	<i>Euonymus oxyphyllus</i>	ツリバナ
ミツバウツギ科 Staphyleaceae	<i>Euscaphis japonica</i>	ゴンズイ
カエデ科 Aceraceae	<i>Acer palmatum</i> var. <i>amoenum</i>	オオモミジ
	<i>Acer mono</i> f. <i>dissectum</i>	エンコウカエデ
	<i>Acer mono</i> var. <i>connivens</i>	ウラゲエンコウカエデ
	<i>Acer crataegifolium</i>	ウリカエデ
アワブキ科 Sabiaceae	<i>Meliosma myriantha</i>	アワブキ
クロウメモドキ科 Rhamnaceae	<i>Berchemia racemosa</i>	クマヤナギ
ブドウ科 Vitaceae	<i>Vitis ficifolia</i> var. <i>lobata</i>	エビヅル
	<i>Vitis flexuosa</i>	サンカクヅル
	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i>	ノブドウ
	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	ツタ
マタタビ科 Actinidiaceae	<i>Actinidia arguta</i>	サルナシ
ツバキ科 Theaceae	<i>Camellia japonica</i>	ヤブツバキ
	<i>Eurya japonica</i>	ヒサカキ
スミレ科 Violaceae	<i>Viola hondoensis</i>	アオイスマミレ
	<i>Viola keiskei</i> f. <i>okuboi</i>	ケマルバスマミレ
	<i>Viola bissetii</i>	ナガバノスマミレサイシン
	<i>Viola grypoceras</i>	タチツボスマミレ
	<i>Viola verecunda</i>	ツボスマミレ

キブシ科 Stachyuraceae	<i>Stachyurus praecox</i>	キブシ
グミ科 Elaeagnaceae	<i>Elaeagnus glabra</i>	ツルグミ
ウコギ科 Araliaceae	<i>Aralia elata</i>	タラノキ
	<i>Aralia cordata</i>	ウド
	<i>Hedera rhombea</i>	キヅタ
	<i>Fatsia japonica</i>	ヤツデ
	<i>Dendropanax trifidus</i>	カクレミノ
	<i>Acanthopanax spinosus</i>	ヤマウコギ
	<i>Kalopanax pictus</i>	ハリギリ
セリ科 Umbelliferae	<i>Cryptotaenia japonica</i>	ミツバ
ミズキ科 Cornaceae	<i>Aucuba japonica</i>	アオキ
	<i>Aucuba japonica</i> f. <i>variegata</i>	ファイリアオキ
	<i>Helwingia japonica</i>	ハナイカダ
	<i>Cornus controversa</i>	ミズキ
	<i>Cornus brachypoda</i>	クマノミズキ
リョウブ科 Clethraceae	<i>Clethra barbinervis</i>	リョウブ
イチヤクソウ科 Pyrolaceae	<i>Pyrola japonica</i>	イチヤクソウ
ツツジ科 Ericaceae	<i>Rhododendron kaempferi</i>	ヤマツツジ
	<i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>elliptica</i>	ネジキ
	<i>Vaccinium oldhamii</i>	ナツハゼ
ヤブコウジ科 Myrsinaceae	<i>Ardisia japonica</i>	ヤブコウジ
ヤブコウジ科 Myrsinaceae	<i>Ardisia crenata</i>	マンリョウ
サクラソウ科 Primulaceae	<i>Lysimachia japonica</i>	コナスビ
	<i>Lysimachia clethroides</i>	オカトラノオ
カキノキ科 Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i>	カキノキ
エゴノキ科 Styrcaceae	<i>Styrax japonica</i>	エゴノキ
モクセイ科 Oleaceae	<i>Ligustrum japonicum</i>	ネズミモチ
	<i>Ligustrum lucidum</i>	トウネズミモチ
	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	イボタノキ
	<i>Osmanthus heterophyllus</i>	ヒイラギ
	<i>Fraxinus longicuspis</i>	ヤマトアオダモ
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	マルバアオダモ
キョウチクトウ科 Apocynaceae	<i>Trachelospermum asiaticum</i> var. <i>intermedium</i>	テイカカズラ
クマツヅラ科 Verbenaceae	<i>Callicarpa japonica</i>	ムラサキシキブ
	<i>Callicarpa mollis</i>	ヤブムラサキ
	<i>Clerodendron trichotomum</i>	クサギ
シソ科 Labiatae	<i>Ajuga nipponensis</i>	ジュウニヒトエ
	<i>Teucrium japonicum</i>	ニガクサ
	<i>Scutellaria indica</i>	タツナミソウ
	<i>Scutellaria brachyspica</i>	オカタツナミソウ
	<i>Salvia japonica</i>	アキノタムラソウ
	<i>Salvia nipponica</i>	キバナアキギリ
ナス科 Solanaceae	<i>Tubocapsicum anomalum</i>	ハダカホオズキ
	<i>Solanum maximowiczii</i>	マルバノホロシ
	<i>Solanum lyratum</i>	ヒヨドリジョウゴ
	<i>Phryma leptostachya</i> var. <i>asiatica</i>	ハエドクソウ
ハエドクソウ科 Phrymaceae	<i>Plantago asiatica</i>	オオバコ
オオバコ科 Plantaginaceae	<i>Hedyotis lindleyana</i> var. <i>hirsuta</i>	ハシカグサ
アカネ科 Rubiaceae	<i>Paederia scandens</i> var. <i>mairei</i>	ヘクソカズラ
	<i>Rubia akane</i>	アカネ
	<i>Galium niewiczii</i>	ヤブムグラ
スイカズラ科 Caprifoliaceae	<i>Sambucus sieboldiana</i>	ニワトコ
	<i>Viburnum plicatum</i> var. <i>tomentosum</i>	ヤブデマリ
	<i>Viburnum dilatatum</i>	ガマズミ
	<i>Viburnum erosum</i>	コバノガマズミ
	<i>Lonicera japonica</i>	スイカズラ
	<i>Lonicera gracilipes</i>	ヤマウグイスカグラ
	<i>Lonicera gracilipes</i> var. <i>glabra</i>	ウグイスカグラ
オミナエシ科 Valerianaceae	<i>Patrinia villosa</i>	オトコエシ
ウリ科 Cucurbitaceae	<i>Trichosanthes cucumeroides</i>	カラスウリ

キキョウ科 Campanulaceae	<i>Melothria japonica</i>	スズメウリ
キク科 Compositae	<i>Gynostemma pentaphyllum</i>	アマチャヅル
	<i>Codonopsis lanceolata</i>	ツルニンジン
	<i>Carpesium divaricatum</i>	ガンクビソウ
	<i>Pertya scandens</i>	コウヤボウキ
	<i>Ainsliaea apiculata</i>	キッコウハグマ
	<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>simplicifolium</i>	ヒヨドリバナ
	<i>Erigeron annuus</i>	ヒメジョオン
	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	ベニバナボロギク
	<i>Syneilesis palmata</i>	ヤブレガサ
	<i>Artemisia annua</i>	クソニンジン
	<i>Lapsana humilis</i>	ヤブタビラコ
	<i>Youngia japonica</i>	オニタビラコ
	<i>Youngia denticulata</i>	ヤクシソウ

いった先駆性樹種が出現した (表10)。

TWINSPAN 法による第3水準までの植生分類によって①～⑧の8群に分けられた (図3)。①～④群は72コドラートがアカシデを指標種として、⑤～⑧群は28コドラートがリョウメンシダ、ドクダミ、ミズヒキ、アマチャヅル、ミヤマカンズゲ、スギ、ヤマアジサイ、ヤワラシダを指標種として分割された。①～④群のうち、①～②群はスギ、ヌルデ、カクレミノを指標種として分割され、さらにコナラを指標種として①群と②群に分割された。①～②群は各コドラートの出現種数がすべて35種以下と少なく、リョウブ、カラスザンショウなどの樹種が特徴的であった。③～④群はアカシデ、ミズキ、コナラ、ジャノヒゲを指標種として分割され、多くのコドラートがこの群とされた。さらにヒメドコロを指標種とした③群とアオハダ、キッコウハグマ、ウグイスカグラ、クサギ、ベニシダを指標種とした④群に分割された。③～④群にはチゴユリ、ヤマウグイスカグラなどが多く出現した。特に③群にはヤマツツジ、マルバウツギ、ヤマコウバシなどの木本の若齢個体が多く、外来種であるトウネズミモチも高い頻度で出現した。⑤～⑧群のうち、⑤～⑥群はケチヂミザサ、オカタツナミソウ、ミゾシダを指標種として分割され、さらにクヌギによって⑤群と⑥群に分割された。⑤～⑥群はキバナアキギリ、ヤマホトトギスなど多くの草本が出現し、ツボスミレ、ナガバノスミレサイシン、アオイスミレなどスミレ類も多く見られた。⑦～⑧群はスギを指標種として分割され、さらにヤマアジサイ、カラスウリを指標種とした⑦群とフモトシダ、ヤマノイモ、サンカクヅル、キチジョウソウ、ウワミズザクラを指標種とした⑧群に分割された。⑦～⑧群はアイアスカイノデ、ツククサなどが多く出現した。

この TWINSPAN の結果に基づいてタイプ分けされたタイプ順に配列した組成表を表10に示した。

アズマネザサはすべてのコドラートに出現し、66コドラートで40%以上の被度をもっていた (表10)。マンリョウ、ヤブコウジといった常緑の種、フジ、ヘクソカズラ、ノササゲ、ミツバアケビといったつる植物は植生分類タイプによらず多くのコドラートで草本層に出現した。タマノカンアオイは植生分類④と⑤で特に高い出現頻度を見せた。

4. 考 察

LTER として設置した 1 ha 固定調査区は、現在、コナラが優占する林が最も多くのコドラートを占め、次いでスギ植林と先駆性樹種の群落が存在することがわかった (図2, 表7)。

植生分類の結果、種組成にいくつかタイプが見られた。TWINSPAN の植生分類の①と②はヌルデ・カクレミノといった先駆性樹種とスギによって特徴づけられる。ここはスギ・ヒノキ植林の倒木の発生によって光環境が良くなった立地であり、高木層の植被率が低い多種優占型と対応している。

植生分類③～④群はコナラ優占型と対応しており、いわゆるコナラ雑木林と考えられた。関東地方のコナラ雑木林は植物社会学的には宮脇 (1967) のコナラ・クヌギ群集 (*Quercetum acutissimo-serratae* Miyawaki 1967) や奥富ら (1976) のコナラ・クリ群集 (*Castaneo-Quercetum serratae* Okutomi, Tsuji et Kodaira 1976) などに分類される (辻 2001) が、本調査区のコナラ優占型の林分は両者の中間的な組成を示す。

農用林施業を継続している雑木林ではシラヤマギク・アキノキリンソウ・ミツバツチグリ・ニガナ・ノハラアザミといった好陽地性の草本が見られると

表8 コドラートの優占種

スタンド名	優占型	スタンド名	優占型
A 0	コナラ型	F 0	コナラ型
A 1	コナラ型	F 1	コナラ型
A 2	コナラ型	F 2	コナラ型
A 3	コナラ型	F 3	クマノミズキ・コナラ・ヤマザクラ型
A 4	コナラ型	F 4	クマノミズキ・コナラ型
A 5	コナラ型	F 5	コナラ型
A 6	アカシデ・コナラ型	F 6	エゴノキ・コナラ・ホオノキ型
A 7	コナラ型	F 7	クスギ・スギ型
A 8	イヌシデ・エノキ型	F 8	スギ型
A 9	イヌシデ・コナラ・ヤマザクラ型	F 9	スギ型
B 0	コナラ型	G 0	コナラ型
B 1	コナラ型	G 1	コナラ型
B 2	コナラ型	G 2	コナラ型
B 3	コナラ型	G 3	コナラ・ヤマザクラ型
B 4	コナラ型	G 4	ウワミズザクラ・コナラ型
B 5	エンコウカエデ・イヌシデ型	G 5	コナラ型
B 6	コナラ型	G 6	コナラ・ヤマザクラ型
B 7	コナラ型	G 7	クスギ・コナラ・スギ型
B 8	エノキ・ヤマザクラ型	G 8	スギ型
B 9	クスギ・ヤマザクラ型	G 9	多種優占型
C 0	クスギ・コナラ型	H 0	コナラ型
C 1	クスギ・コナラ型	H 1	コナラ型
C 2	クマノミズキ・コナラ・ハリギリ型	H 2	コナラ型
C 3	コナラ型	H 3	クマノミズキ・コナラ型
C 4	クマノミズキ・コナラ型	H 4	コナラ型
C 5	コナラ型	H 5	コナラ型
C 6	コナラ型	H 6	コナラ・スギ型
C 7	コナラ型	H 7	スギ型
C 8	コナラ・ヤマザクラ型	H 8	スギ型
C 9	クマノミズキ型	H 9	多種優占型
D 0	コナラ型	I 0	クスギ・コナラ型
D 1	コナラ型	I 1	コナラ型
D 2	コナラ型	I 2	コナラ型
D 3	クマノミズキ・コナラ・ヤマザクラ型	I 3	コナラ型
D 4	コナラ型	I 4	ヤマザクラ型
D 5	コナラ型	I 5	スギ・ヤマザクラ型
D 6	コナラ型	I 6	スギ型
D 7	コナラ型	I 7	スギ型
D 8	コナラ・フジ・ホオノキ型	I 8	多種優占型
D 9	クマノミズキ・コナラ・スギ型	I 9	多種優占型
E 0	コナラ型	J 0	コナラ型
E 1	コナラ型	J 1	クスギ・コナラ型
E 2	コナラ型	J 2	クマノミズキ型
E 3	コナラ型	J 3	クスギ型
E 4	コナラ・ミズキ型	J 4	スギ型
E 5	コナラ型	J 5	スギ型
E 6	コナラ型	J 6	スギ型
E 7	ヤマザクラ型	J 7	多種優占型
E 8	スギ・ヤマザクラ型	J 8	多種優占型
E 9	スギ型	J 9	コナラ・ヒノキ型

表9 優占型別コドラート数

	優占型	スタンダード数
1 種優占型	コナラ型	49
	スギ型	15
	クマノミズキ型	2
	ヤマザクラ型	2
	クスギ型	1
2 種優占型	クスギ・コナラ型	4
	クマノミズキ・コナラ型	3
	コナラ・ヤマザクラ型	3
	スギ・ヤマザクラ型	2
	アカシデ・コナラ型	1
	エンコウカエデ・イヌシデ型	1
	イヌシデ・エノキ型	1
	ウワミズザクラ・コナラ型	1
	エノキ・ヤマザクラ型	1
	クスギ・スギ型	1
	クスギ・ヤマザクラ型	1
	コナラ・スギ型	1
	コナラ・ヒノキ型	1
	コナラ・ミズキ型	1
3 種優占型	クマノミズキ・コナラ・ヤマザクラ型	2
	イヌシデ・コナラ・ヤマザクラ型	1
	エゴノキ・コナラ・ホオノキ型	1
	クスギ・コナラ・スギ型	1
	クマノミズキ・コナラ・スギ型	1
	クマノミズキ・コナラ・ハリギリ型	1
	コナラ・フジ・ホオノキ型	1
多種優占型	多種優占型	6

される (星野 2005)。本調査区のコナラ林では上記の好陽地性の種はほとんど見られず、管理を停止され、林床環境が暗くなった状態の雑木林を示す種組成であると考えられる。また、コナラの樹高 10 m 未満の個体数が少なかったことから、後継樹が育っていないと考えられる (表 4)。八木 (2005) は、林木が大径化した雑木林では林内の光環境が暗くなり、コナラの実生による更新は困難であるとしており、本調査区でもコナラの実生による更新は困難な状態に陥っているおそれがある。

星野 (2005) は関東地方のコナラ二次林は落ち葉掻きや下刈りがおこなわれなくなると、シラカシ・シロダモ・ヒサカキなどの常緑樹が侵入するとしている。本調査区ではヒサカキ・イヌツゲ・ネズミモチが低木層に比較的多く出現したが、高木層で優占するような常緑広葉樹はアラカシが数本出現したのみであり、小さい個体もほとんど見られなかった。調査区設置以前は林床にアズマネザサが密生してい

たことから、アズマネザサの被陰によって常緑広葉樹の定着・生長も妨げられていたことが示唆される。

⑤～⑥は沢に位置しており、コナラとともにクマノミズキやクスギが優占するコドラートも多くあり、水分条件に幅があるため、多くの種が生育していた。⑦～⑧はスギ優占型と良く対応していた。⑤と⑥、⑦と⑧の種組成の違いについての説明には、地形などの調査・解析が必要であると思われる。

保護上重要な野生生物種に指定されているタマノカンアオイなどが確認されたことから、本調査区のある林地はこの地域の種多様性保全に貢献していると思われる。一方で、ヒイラギナンテンやファイリアオキといった周辺宅地の緑化樹由来と思われる外来種の侵入も受けていることが確認された。

まとめ

FM 多摩丘陵に設置した 1 ha の固定調査区でお

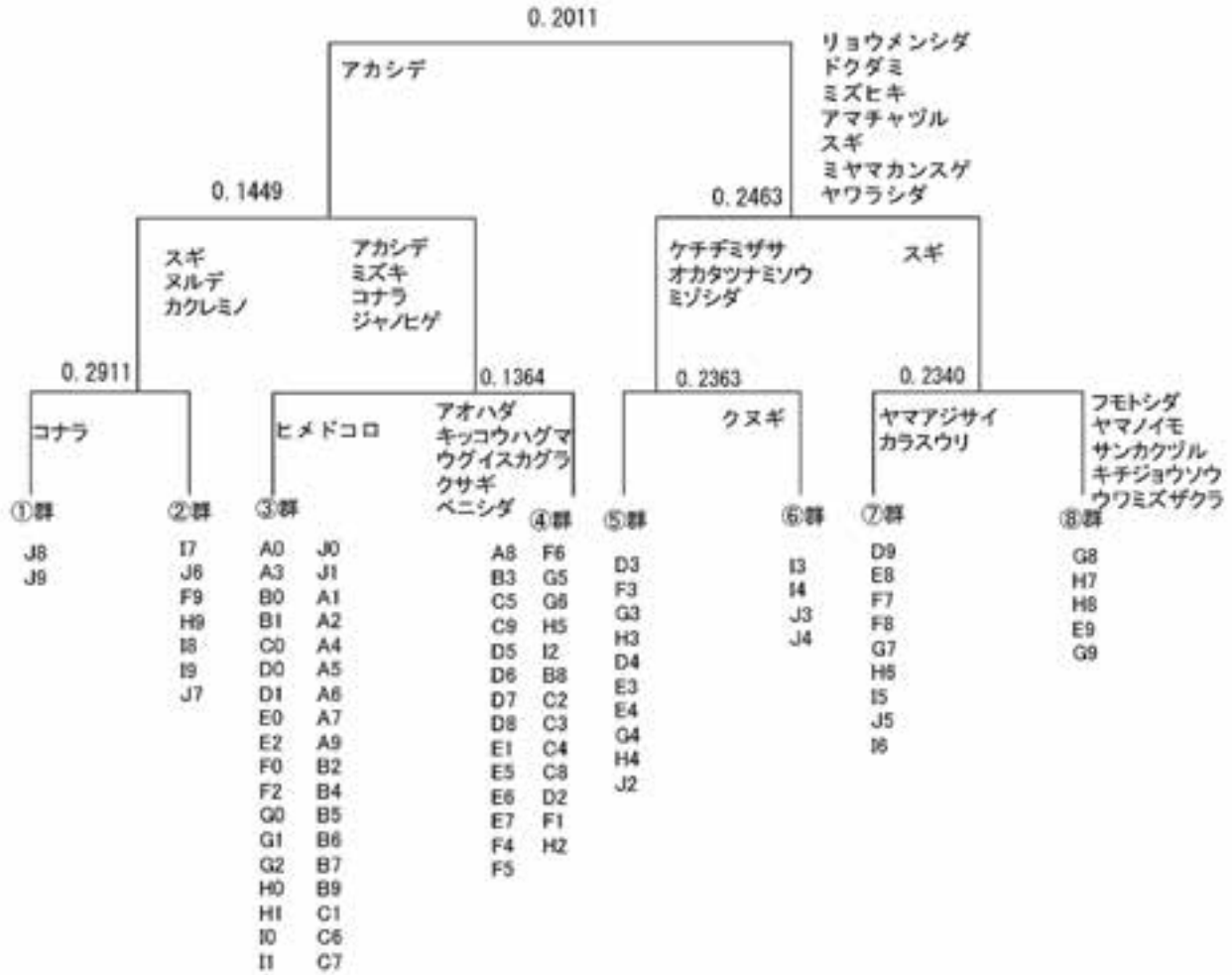


図3 種の有無に基づいた TWINSpan による植生分類
 図中の数字は分割時の固有値を、種名は分割の指標種を示す。アルファベットと数字は図2のコドラート番号を示す。

こなつた毎木調査および植生調査により、本調査区には大きく分けてコナラ雑木林、スギ植林、先駆性樹種群落があり、異なる種組成で特徴づけられることがわかつた。最も多くの面積を占めるコナラ雑木林は、伐採や落ち葉掻きなどの管理がおこなわれていないことに起因するコナラの高齢化、アズマネザサの繁茂、好陽地性植物種の欠如といった現象が生じていることが示唆された。絶滅危惧種を含む在来植物が多くみられることで、地域の種多様性保全に貢献している一方で、周辺を宅地に囲まれているため外来種の侵入も受けていることが確認された。本調査区は管理放棄により里山林が抱える問題点を含み、里山林の長期モニタリング調査区として利用できることを考える。今後は、目標とする植生を設定し、それに見合った管理方針を明確にしていく必要がある。

引用文献

土器屋由紀子・安富六郎・小倉紀雄・内川 武 (2001) 多摩丘陵の自然と研究—フィールドサイエンスへの招待—。134 pp, けやき出版, 立川。

Hill, M. O. (1979) TWINSpan. A Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University Press, Ithaca, NY.

星野義延 (1994) 草本演習林のミズナラ林の植物社会学的研究。東京農工大学農学部演習林報告 32: 23-30。

星野義延 (2005) 雑木林の生態: 68-69, 福嶋 司 編著。植生管理学, 朝倉書店, 東京。

星野義延・八木正徳 (2001) アズマネザサの分布と

<i>Youngia denticulata</i>	ヤクシソウ	
<i>Stephanandra incisa</i>	コゴメウツギ	
<i>Dryopteris x nitaii</i>	アイノコクマワラビ	a
<i>Polystichum x miuranum</i>	ミウライノコ	
<i>Lapsana humilis</i>	ヤブタバコ	a
<i>Festuca porvigilans</i>	トボシガラ	a
<i>Rhus succedanea</i>	ハゼノキ	a
<i>Pteris cretica</i>	オオバノイモトソウ	
<i>Arenaria annua</i>	クソニンジン	
<i>Polygonum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>	アマドコロ	a
<i>Astilbe microphylla</i>	チヂメサシ	a
<i>Coniogramme intermedia</i>	イワガネセンマイ	a
<i>Rosa omei</i> var. <i>ofigantha</i>	ヤマチリハノイバラ	a
<i>Carex dolichostachya</i> var. <i>glaberrima</i>	ミヤマカシズメ	a
<i>Polygonum thunbergii</i>	ミソソバ	
<i>Carex japonica</i>	ヒコグサ	b
<i>Carex transversa</i>	ヤワラスゲ	a
<i>Dryopteris hondoensis</i>	オオベニシダ	a
<i>Cyrtocarpus japonica</i>	ミツバ	a
<i>Anemone nikoensis</i>	イチリンソウ	a

生態：95-102.

土器屋由紀子・岸 洋一 (2003) 東京農工大学フィールドサイエンス・センターにおける長期モニタリング. フィールドサイエンス 3 : 49-53.

近藤末男・高水典夫 (1968) 南多摩郡下波丘地における有毒植物の調査について. 波丘地農業研究所報 4 : 8-19.

Londo, G. (1976) The decimal scale for relevés of permanent quadrats. *Vegetatio* 33 : 61-64.

McCune, B. & Mefford, M. J. (1999) PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR.

宮脇 昭 (1967) 二次林 I : 95-99, 宮脇昭編著. 原色現代科学大事典 3—植物, 学研, 東京.

中島道郎 (1958) 波丘地における森林の取り扱いについて. 波丘地農業研究所報 1 : 1-9.

Ohsawa, M. (1984) Differentiation of vegetation zones and species strategies in the subalpine region of Mt. Fuji. *Vegetatio* 57 : 15-52.

奥富 清・辻 誠治・小平哲夫 (1976) 南関東の二次林植生—コナラ林を中心として—. 東京農工大学演習林報告 13 : 56-66.

杉本文三・茂沢隆之助・原 喜一郎・川名 明 (1968) 波丘地におけるスギ・ヒノキ造林地の肥培実験—生長量とスギハダニの被害—. 波丘地農業研究所報 4 : 1-7.

辻 誠治 (2001) 日本のコナラ二次林の植生学的研究. 52 p, 東京植生研究会, 府中.

八木正徳 (2005) 雑木林の管理 : 69-73, 福嶋 司編著. 植生管理学, 朝倉書店, 東京.

米倉浩司・梶田 忠 (2003) 「BG Plants 和名—学名インデックス」(YList), http://bean.bio.chiba-u.jp/bgplants/ylist_main.html (2007年11月3日).

投 稿 規 程

「フィールドサイエンス」(英文名: Journal of Field Science) は, 東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センターの研究報告誌で年1回以上発行される。

本誌には, 広くフィールドサイエンスに関する研究成果などを掲載する。

1. 目的

フィールドサイエンスに関する研究成果を公表し, その発展に寄与する。

2. 投稿者

東京農工大学に所属する者およびフィールドサイエンスに関心をもつ者

3. 報文の種類と内容

- (1) 原著論文: 独創的な研究で, 価値ある結論あるいは実験・調査結果を含むもので未発表のものに限る。
- (2) 研究資料: 測定・観察記録, 既成の知見の確認など研究上報告する価値のあるもので未発表のものに限る。
- (3) 総説・解説: フィールドサイエンスに関するレビュー, 実験・調査方法に関する解説など。

4. 報文の原稿

- (1) 原稿は, 和文または英文とする。
- (2) 原稿は, 別に定める執筆要領に従って作成し, 刷り上がり20ページ以内とする。

5. 投稿手続き

原稿は, 原著論文では原文1部とコピー2部, その他原稿では各1部を次の様式による原稿送付状を添えて, 編集委員長に提出する。

- (1) 著書名
- (2) 表題
- (3) 原稿枚数(表紙, 本文, 要旨, 図, 表および写真のそれぞれの枚数)
- (4) 報文の種類
- (5) 別刷り希望部数

6. 原稿の受理・採否

- (1) 原著論文の審査は編集委員会で委嘱した学内および学外の審査員各1名以上が行い, 論文等の採否は, 審査結果に基づいて編集委員会が行う。
- (2) 研究資料および総説・解説の原稿の審査

は, 審査員1名以上で行う。

- (3) 原稿が受理されたのち, 原稿が入力されたフロッピーディスク(DOS/V 1.44 MB)にテキストあるいは書式付きテキスト)を提出する。

7. その他

- (1) 別刷希望者は実費負担とする。

執 筆 要 領

1. 原著論文

- (1) 和文原稿
 - 1) 和文表題
 - 2) 著者名
 - 3) 英文表題
 - 4) 著者名のローマ字書きフルネーム
 - 5) ランニングタイトル(和文)
 - 6) 英文要旨・キーワードおよび和文要旨・キーワード
 - 7) 本文(はじめに, 試料と方法, 結果, 考察)
 - 8) 引用文献
- (2) 英文原稿
 - 1) 英文表題
 - 2) 著者名のローマ字書きフルネーム
 - 3) 和文表題
 - 4) 著者名
 - 5) ランニングタイトル(英文)
 - 6) 和文要旨・キーワードおよび英文要旨・キーワード
 - 7) 本文(Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion)
 - 8) 引用文献
- (3) 原稿の表紙(第1枚目)には, 上記1)~5)を記載し, 脚注として著者の所属(学科名等)を和文および英文で記載する。

2. 用語等

- (1) 和文原稿は, A4判用紙(縦)を用い横書きとし, ワードプロセッサにより1000字(40字, 25行)に印字する。
- (2) 英文原稿および英文要旨は, A4判用紙(縦)にワードプロセッサ1行約60字詰め, 25行で印字する。
- (3) 動物・植物等の和名, 外来語および原語によらない場合の外国の地名・人名はカタカナとする。学名はイタリックとする。

- (4) 用語は、原則として文部省編「学術用語集」に使われているものを用いる。
- (5) 量記号は、イタリックのローマ字もしくはギリシャ文字のアルファベットの1字、またはこれに添字を付けたものを用いる。
- (6) 単位は国際単位系 (SI) を用いることが望ましい。

3. 要旨・キーワード

- (1) 和文要旨は約500字以内に、英文要旨は約300語以内にまとめる。なお、和文原稿の英文要旨は約600語以内にまとめる。
- (2) キーワードは日本語および英語でそれぞれ5個以内とし、和文および英文要旨の後に書く。なお、英文の1つのキーワードは3単語以内とする。
- (3) 要旨は和文、英文ともそれぞれ別紙に記載する。

4. 本文

- (1) 和文、英文ともに本文の見出しはポイントシステムによる記号を用い、大見出し、中見出し、小見出しをそれぞれ1., 1.1, 1.1.1とする。さらに細分を要する場合は (a), (b), ……、を用いる。

5. 図・表

和文原著論文の場合、図・表の題名・注等は英文とする。

- (1) 図 (写真は図として取り扱う)
 - 1) 図の題名および注はその順序に図の下に書く。
 - 2) 図は白紙に鮮明に書く。また、図のサイズは印刷される大きさの約2倍に描く。
 - 3) 図は1枚ごとに別紙とし、図番号の表示は、Fig. 1. のようにする。
本文中で図番号を示すときも同様とする。
 - 4) 写真は鮮明なものを用いる。題名および注はその順序に写真の下に記載する。
 - 5) 図の挿入箇所は、原稿の該当位置の右欄外に図番号を朱書きして指定する。
- (2) 表
 - 1) 表の題名は表の上に、注は表の下にそれぞれ記載する。

2) 表は1枚ごとに別紙とし、表番号の表示は、Table 1. のようにする。

本文中で表番号を示すときも同様とする。

3) 表の挿入箇所は、原稿の該当位置の右欄外に表番号を朱書きして指定する。

6. 研究資料および総説・解説

原著論文の執筆要領に必ずしも準じなくても良い。

7. 引用文献

- (1) 引用文献は著者名のアルファベット順に記載し、本文の該当箇所に (著者名, 年号) または著者名 (年号) のように明示する。
- (2) 雑誌の場合は、著者名 (年) 表題. 雑誌名, 巻または号 (通巻ページでないものは巻号) : 最初のページ-最後のページとする。
- (3) 単行本の場合は、著者名 (発行年) 書名. ページ, 発行所, 所在地とする。

引用文献の書き方 (例)

文献は本文中に引用されたものすべてを記載する。雑誌名は原則として、省略しないで表記する。

(a) 雑誌論文

田中阿歌磨・星野隆一 (1933) 択捉島湖沼踏査概況及其の湖沼形態, 水の理化学的所見. 陸学雑誌 3 : 1-19.

Birge, E. A. and Juday, C. (1934) Particulate and dissolved organic matter in inland lakes. *Ecological Monograph* 4 : 440-474.

(b) 単行本の全部

吉村信吉 (1937) : 湖沼学. 266 pp, 三省堂, 東京.
Ruttner, G. E. (1957) *Fundamentals of Limnology* (Translated by Frey, D. G. and Fry, F. E. J.). 380 pp, Toronto University Press, Toronto.

(c) 単行本の章または分冊

小林繁男 (1993) 熱帯林土壌のせき悪化. 熱帯林土壌, 真下育久編, 385 pp, 勝美堂, 東京 : 280-333.

Syrett, P. J. (1962) Nitrogen Assimilation. *In* *Physiology and Biochemistry of Algae*, Lewin, R.A. (ed.), 670 pp, Academic Press, New York : 171-188.

フィールドサイエンス編集委員会

編集委員長 島田 順 東京農工大学農学部 FS センター長, 教授

編集委員 原 宏 FS センター教授
渡辺 直明 FS センター助教
鈴木 馨 FS センター准教授
松村 昭治 FS センター准教授
伴 琢也 FS センター准教授
鈴木 創三 生物生産学科教授
三浦 豊 応用生物科学科准教授
楊 宗興 環境資源科学科教授
戸田 浩人 地域生態システム学科教授
下田 実 獣医学科教授

事務局 土屋 雅義 府中地区総務副 TL (FS 担当)

Editorial Committee of Journal of Field Science

Editor-in-Chief

Jun SHIMADA Director of Field Science Center, Professor of Tokyo University of Agriculture and Technology

Editorial Board

Hiroshi HARA Professor of Field Science Center
Naoaki WATANABE Assistant Professor of Field Science Center
Kaoru SUZUKI Associate Professor of Field Science Center
Shoji MATSUMURA Associate Professor of Field Science Center
Takuya BAN Associate Professor of Field Science Center
Sohzoh SUZUKI Professor, Dept. of Field Science Center
Yutaka MIURA Professor, Dept. of Applied Biological Science
Muneoki YOH Professor of Dept. of Environmental and Natural Resources Science
Hiroto TODA Professor, Dept. of Ecological Science
Minoru SHIMADA Professor, Professor of Dept. of Veterinary Medicine

Management Office

Masayoshi TSUCHIYA Chief of Field Science Center Office

平成22年 3月25日 印刷

平成22年 3月31日 発行

発行所 東京農工大学農学部附属 FS センター
〒183-8509 府中市幸町 3-5-8 ☎042-367-5799
印刷所 電算印刷株式会社
〒390-0821 松本市筑摩 1-11-30 ☎0263-25-4329



Journal of Field Science

No. 8

March, 2010

Originals

- 1 Study on Subsurface Irrigation using Ceramic Pitcher for Tomato Cultivation in Greenhouse—Effect of Water Pressure inside Ceramic Pitcher on Soil Moisture and Tomato Growth— / J. ZHANG, H. SAITO, S. MATSUMURA, H. OZAWA, K. MASTUKAWA and M. KATO

- 9 Factors affecting on the Occurrence of Bear Damage to Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) / Y. MATSUMOTO, M. KANEKO, H. KINOSHITA, N. WATANABE, A. KAMEYAMA and K. FURUBAYASHHI

Research materials

- 17 Natural regulation of insect pests and diseases of rice plants in no-tilled and non-puddling rice paddies / T. MOTOBAYASHI

- 85 Tree census and vegetation survey of 1 ha LTER plot in FM Tamakyuryo / N. HASEGAWA, Y. HOSHINO, N. WATANABE and H. HARA

FIELD SCIENCE CENTER, TOKYO UNIVERSITY OF
AGRICULTURE AND TECHNOLOGY
Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan