

フィールドサイエンス

Journal of Field Science

No. 10 2012



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24年 5 月

フィールドサイエンス 第10号

目次

原 著

- 1 トウモロコシの生育に及ぼす窒素施用時期と灌水時期の影響／モハマド ザリフ シャリフィ・松村昭治
- 9 FM多摩丘陵における設置環境と無線通信品質の相関調査／大島浩太・原 宏・萩原洋一・寺田松昭

研究資料

- 17 ブルーベリーに関する最近の研究成果／伴 琢也
- 23 東京農工大学フィールドミュージアム多摩丘陵で捕獲されたホンダヌキとニホンアナグマの体サイズ／蔵本洋介・金子弥生
- 27 FM多摩丘陵におけるハイパースペクトル画像解析による樹種特定手法の開発／五味高志・安藤史識・藤森雄大・高良洋平・野呂直樹
- 33 FM多摩丘陵 JaLTER プロットにおける土壌特性の空間変動／木村園子ドロテア・岸本(莫)文紅・大浦典子・関川清広・米村正一郎・須藤重人・早川 敦・南川和則・高田裕介・原 宏



蔵本ほか 図2. 捕獲罠に入ろうとするタヌキ (p. 24)



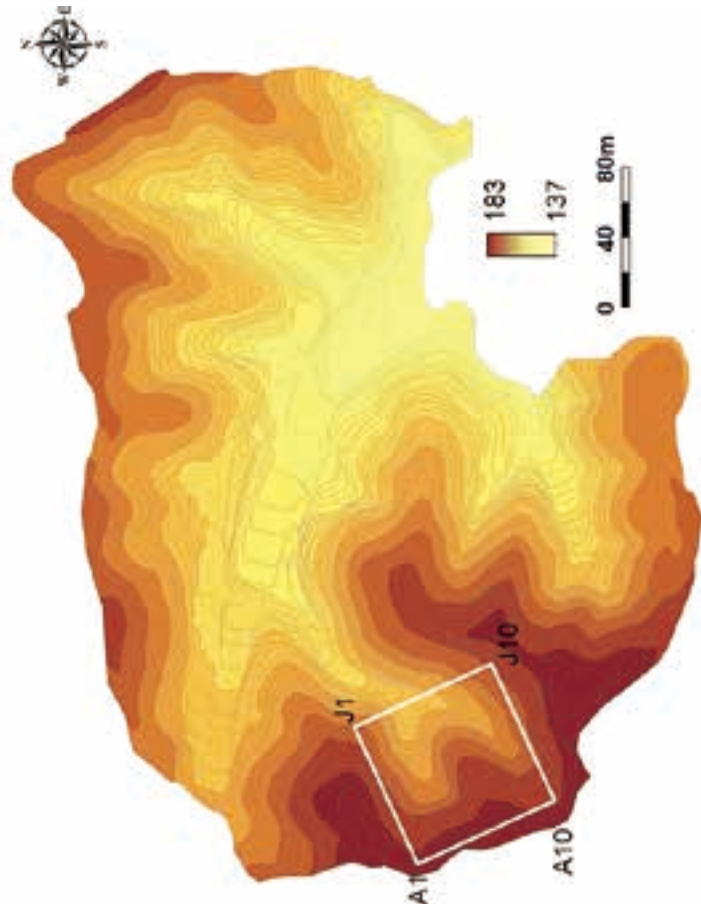
蔵本ほか 図4. 捕獲されたタヌキ (No. 2) (p. 25)



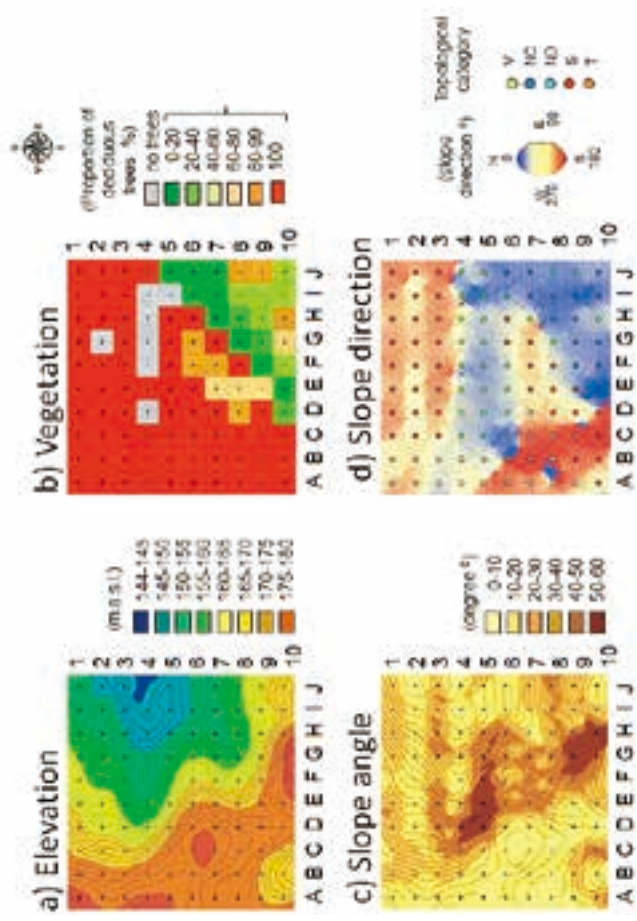
蔵本ほか 図3. 捕獲されたタヌキ (No. 1) (p. 25)



五味ほか 図1. 50 mタワーからのデジタルカメラ画像 (p. 29)



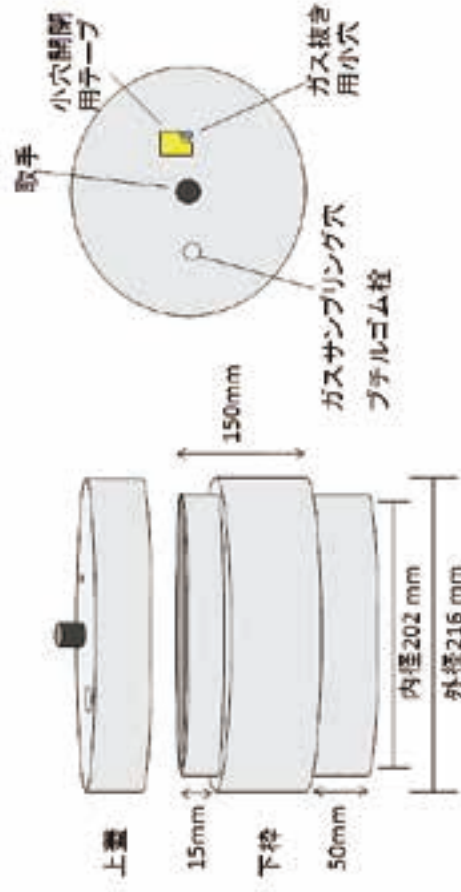
木村ほか Fig. 1 Location of JaLTER Plot in the FM Tamakyuryo. (p. 34)



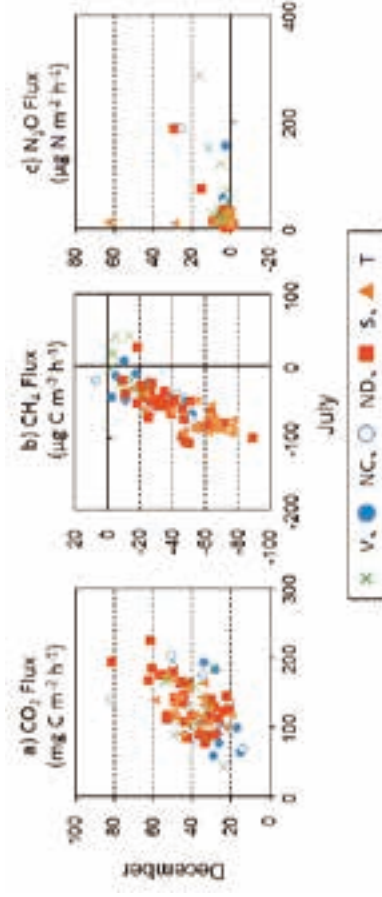
木村ほか Fig. 2 General characteristics of the JaLTER plot. (p. 35)



木村ほか Fig. 4 Sampling members in (a) July and (b) December, and the measurement scene in (c) July and (d) December (p. 38)



木村ほか、 Fig. 3 Chamber used in this study. (p. 35)



木村ほか、 Fig.5 Relation of a) CO₂, b) CH₄, and c) N₂O fluxes in July and December according to different topography. (p. 43)

原著

トウモロコシの生育に及ぼす窒素施用時期と灌水時期の影響

モハマド ザリフ シャリフィ^{*1}・松村 昭治^{*2}

Effects of timings of nitrogen application and irrigation on corn growth

Mohammad Zarif SHARIFI^{*1}, Shoji MATSUMURA^{*2}

A pot experiment was carried out in a plastic house at the FS center, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology in 2006, in order to examine the effects of timings of nitrogen application and irrigation on growth and yield of corn. Volcanic ash soil, *Silic Andisols*, from the upland field of Fuchu farm was packed into a/2000 sized Wagner's pots. Before planting, 25 kg N ha⁻¹ of ammonium sulfate, 150 kg P₂O₅ ha⁻¹ of fused phosphate and 150 kg K₂O ha⁻¹ of potassium sulfate were mixed with the soil in every pot. Corn seeds (var. Golddent KD772 SP) were planted in every pot on June 6, and the combination effects of timings of nitrogen topdressing and intensive irrigation (4 timings of nitrogen supply × 4 timings of intensive irrigation) on the corn growth were examined. Four timings included 8 leaf stage, 12 leaf stage, silking stage, ripening stage of corn. The corn plant height was not influenced by the nitrogen topdressing time when sufficient water was supplied at the 8 leaf stage, but when the timing of irrigation was later than 12 leaf stage it was increased by early dressing time of nitrogen. The leaf color was almost the same up to 12 leaf stage, but in the silking stage the green color was increased by nitrogen topdressing. The greatest aboveground biomass and the grain yield were achieved by the combination of nitrogen supply at 12-leaf stage and irrigation at silking stage. These results showed that growth and grain yield of corn were effectively improved by the combination of nitrogen topdressing at the 12 leaf stage and sufficient irrigation at silking stage. This finding seems to be very useful for regions where water resources and nitrogen fertilizer are limited to use for agricultural production.

Key words : corn grain yield, intensive irrigation at different growth stage, nitrogen topdressing at different growth stage, pot experiment, nitrogen use efficiency

トウモロコシの生育に及ぼす窒素施用時期と灌水時期の影響を明らかにする目的で、2006年夏に東京農工大学農学部FSセンターのビニールハウス内でポット試験を行った。1/2000アールのワグナーポットに黒ボク土壌を充填し、全ポットに窒素25 kg N ha⁻¹、リン酸150 kg P₂O₅ ha⁻¹、カリ150 kg K₂O ha⁻¹をそれぞれ硫酸、熔リン、硫酸カリで施用し、土壌に混合した。こうして準備した全ポットに、6月6日にトウモロコシ(品種: Golddent KD772 SP)を播種し、トウモロコシの4つの生育時期(8葉期、12葉期、絹糸抽出期、登熟期)のいずれかに窒素追肥と灌水を行った。8葉期に十分に灌水した場合はトウモロコシの草高が窒素追肥時期により影響されることはなかったが、12葉期または絹糸抽出期の灌水では早い時期に窒素を追肥した場合に草高が高くなった。葉色は12葉期までは窒素追肥時期の影響は認められなかったが、絹糸抽出期には窒素追肥により緑色が濃くなる傾向がみられた。地上部乾物重は12葉期に窒素を追肥し、絹糸抽出期に十分な灌水を行った場合に最大になった。子実収量は絹糸抽出期以後に灌水した場合に高くなった。以上の結果から、トウモロコシの生育および子実収量は12葉期の窒素追肥と絹糸抽出期の十分な灌水の組み合わせに

*1 東京農工大学大学院農学研究科 現在: アフガニスタン国カブール大学 Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology. Present affiliation: Kabul University, Afghanistan

*2 東京農工大学農学部 Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

よって最も効果的に達成されることが明らかになった。この結果は水資源に乏しく窒素肥料の使用量も十分でない地域にとってきわめて有用であると考えられる。

キーワード：トウモロコシ子実収量，生育時期別灌水，生育時期別窒素追肥，ポット試験，窒素利用効率

1 Introduction

It is important to raise crop productivity and the production in order to meet the increasing food requirement by the increasing population all over the world. Since almost all suitable land for food production has already been developed, the increase of crop production must be by the increase per unit area (Yildirim and Guvence 2005). Except for genetic development, the high crop productivity is achieved mainly by supplying an adequate amount of water and nutrients, especially nitrogen, to crops (Fageria *et al.* 2003).

In semi-arid countries like Afghanistan, the most important issue for crop production is the limited supply of water (Blumenthal *et al.* 2003). Nitrogen is also the most important nutrient to affect crop yield. Grain yield is a result of photosynthetic activity through the growing period of plants and the photosynthetic activity depends on chlorophyll content in leaves. The chlorophyll content is affected by nitrogen status in plant leaves and a supply of nitrogen to crop is inevitable. In many developing countries in semi-arid regions, both water for agricultural use and nitrogen fertilizer are limited because of climatic and economic reasons (Sadras 2004). Therefore, the most effective ways to use these limited resources to crops should be developed.

Corn grain is one of the important staple foods in many semi-arid countries. It is reported that corn plants demand 270–370 grams of water to produce one gram of the dry matter. When 490 mm of water was irrigated through the growing period, 6 tons ha^{-1} of corn grain yield was produced (Kirda *et al.* 1999). They also showed that there must be a most effective timing of irrigation to produce corn grain yield, as well as the best timing of nitrogen topdressing to paddy rice plants. Therefore, if the most effective timings of irrigation and nitrogen top-

dressing are clarified, corn grain yield will be improved even under the limited use of the two resources.

The objective of this study is to find the best timings of irrigation and nitrogen topdressing to produce reasonable growth and yield of corn.

2 Materials and Methods

A pot experiment was carried out in a plastic greenhouse at the Field Science Center of Tokyo University of Agriculture and Technology, in 2006 (Fig. 1). Ten kg of volcanic ash soil, *Silic Andisols*, was collected from the upland field of Fuchu farm, sieved through 10mm, and then packed into 1/2000-are sized Wagner's pots. Two-factor experiment was established as shown in Fig. 2, including 4 timings of nitrogen topdressing and 4 timings of intensive irrigation with 3 replicates. Four timings included 8-leaf, 12-leaf, silking, and ripening stage. After packing the soil, 25 kg N ha^{-1} of ammonium sulfate, 150 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ of fused phosphate and 150 kg $\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$ of potassium sulfate were mixed with the soil in every pot as a basal dressing on June, 6. Twenty five kg N ha^{-1} of ammonium sulfate was applied as the treatment of nitrogen topdressing at one of the 4 stages, 8-leaf, 12-leaf, silking and ripening stage. The treatment of intensive irrigation was conducted to regulate the soil moisture condition at



Fig. 1. Pot experiment in a plastic greenhouse

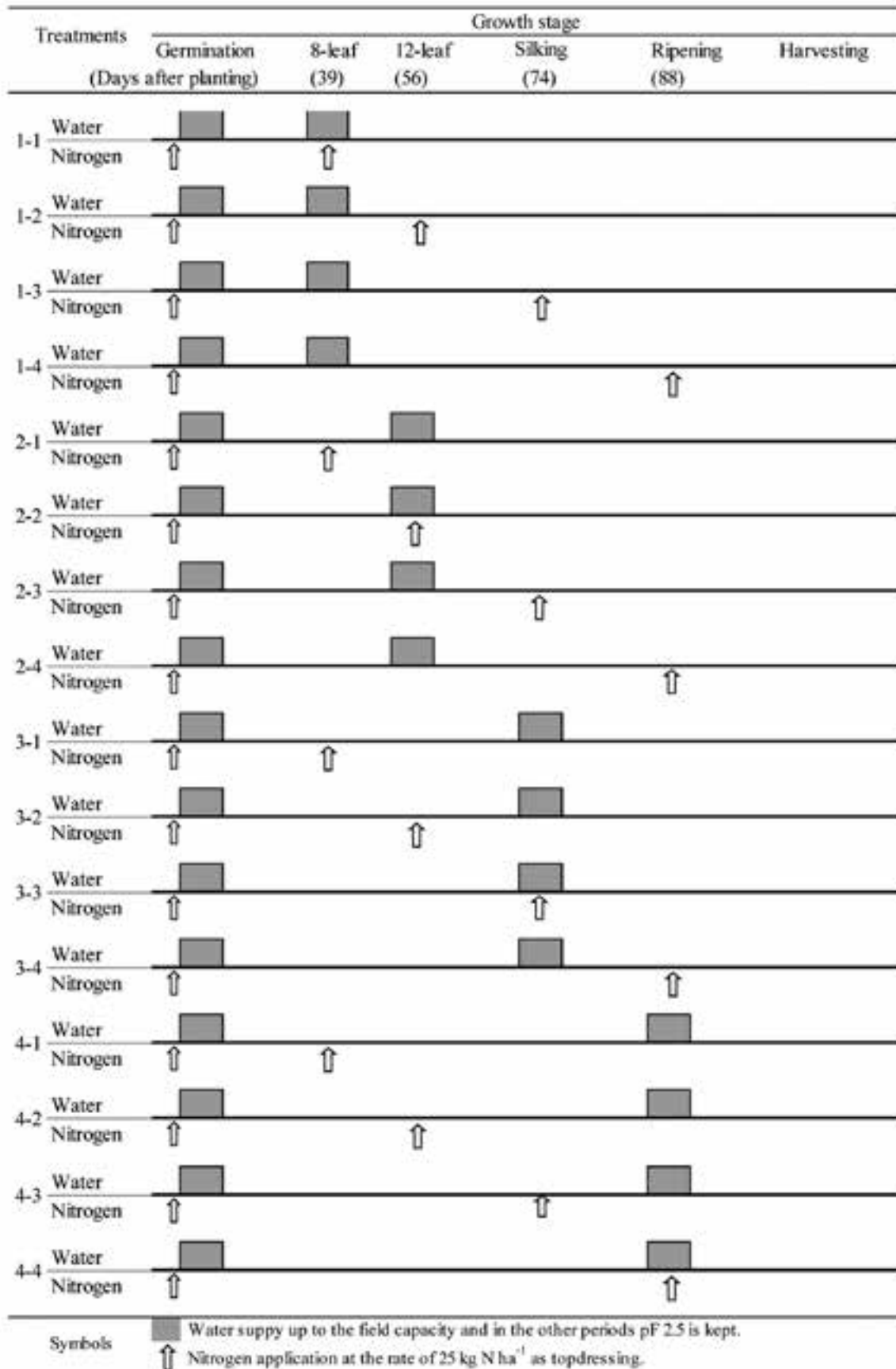


Fig. 2. Experimental design

pF 1.5 during a week of one of the 4 stages, while maintained at pF 2.5 during the other periods, by using the soil moisture meter with a ceramic sensor (Fujiwara, SPAD PF-33). The temperature of pot-soil and air in the plastic greenhouse was continuously recorded with thermo recorders (Espec, RT-11) during the hottest season, from August 5 to August 25.

Four corn seeds (var. Golddent KD772 SP, Kaneko co. Ltd) were planted by hand in every pot at a depth of 2-3 cm, and then two liters of water were applied to each pot on June 9. After emerged, the three extra seedlings were removed on June 29, remaining only one plant in each pot. In order to control corn borer and other corn insects' infestation, "Afirm" (insecticide) was sprayed in three different times during the growth period.

For the irrigation treatment, 12 pots from the 48 pots were supplied with efficient water to keep soil moisture at pF 1.5 for one week, and then with a little water at pF 2.5 during the other periods. The deionized water was used for the irrigation. The amount of water supplied was varied from 0.2 to 2.5 L pot⁻¹, depending on the weather condition. The nitrogen treatment was conducted at one of the stages of 8-leaf, 12-leaf, silking, and ripening, independently from the irrigation treatment. Soil moisture measurement started on June 22 and was done twice a week in the morning hours until July 12. The required water supply was determined for each pot from the soil moisture data.

The number of leaves was counted in every two weeks. The plant height was measured using a regular ruler from the soil surface up to the end of plant growth point from July 7 to the end of the silking stage, when the plant height reached its final value. The leaf color was measured every week with the chlorophyll meter (Konica Minolta, SPAD-502) by means of Argenta *et al.* (2004) from July 7 until the harvesting time. The thickness of corn stems was also measured at the harvesting time on September 9. Measured position of the thickness was 30 cm above the soil surface using a slide caliper (1/10 mm measuring accuracy).

After the harvest, plants were divided into

smaller organs and their fresh weight was measured. The dry weights were measured after dried in an oven at 70°C for 2 days. All grains were detached from corn cobs by hand and the total number and the dry weight of the grains were measured. Statistical analysis was carried out by standard ANOVA procedures using Excel Statistics (Yanai, 2000).

3 Results and Discussion

3.1 Environmental conditions

Changes of air and soil temperature in the greenhouse during the growth period of corn are shown in Fig. 3. Air temperature changed drastically within the range of 25 to 45°C and the mean daily temperature was around 32°C, while the pot-soil temperature ranged from 27 to 40°C and the mean was the same as the air temperature.

Soil moisture condition was regulated as arranged by the irrigation treatment (Fig. 2). When the moisture content was treated to pF 1.5 for each one week of 8-leaf stage and the ripening stage, it was suitably regulated (Fig. 4A, 4D). However, for the 12-leaf and silking stages, the treatment could not keep the soil moisture at pF 1.5 due to too hot environment in midsummer and it had changed in a rather wide range (Fig. 4B, 4C).

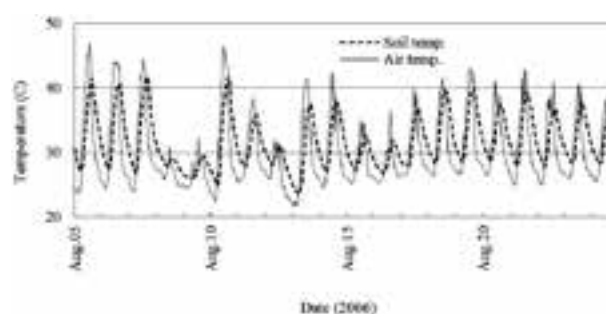


Fig. 3. Temperatures in August in the greenhouse.

3.2 Plant height

It was observed that both treatments of nitrogen and irrigation after the silking stage (about 70DAP) had not significant effect on plant height, because its elongation was already completed; actually, corn plant height reached maximum at silking stage. The height was affected by a combination of the timings of nitrogen supply and irrigation (Fig. 5).

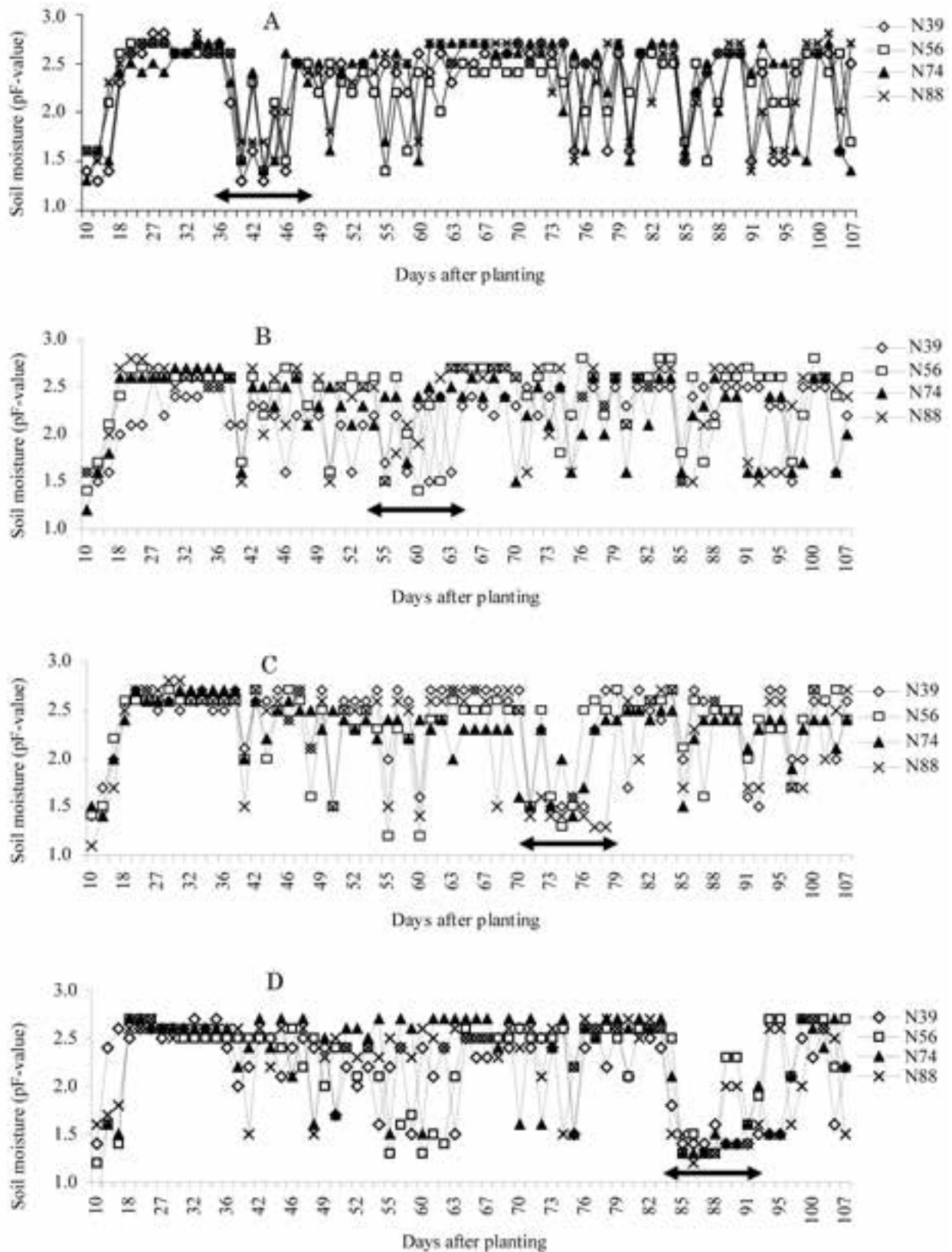


Fig. 4. Changes of soil moisture condition affected by different period of sufficient irrigation. A, irrigation at 8 leaf-stage ; B, 12 leaf-stage ; C, silking stage ; D, ripening stage. N 39-88 means the date nitrogen was top-dressed (days after planting).

When irrigation was conducted at 8 leaf stage, the timing of nitrogen supply did not influence the plant height (Fig. 5A). It seemed that nitrogen applied at 39 DAP was already run out before rapid growing stages and nitrogen applied later was not available because of low soil moisture condition. Nitrogen application at 74 and 88 DAP seemed too late to elongate (Fig. 5B). However, when water was supplied at the 12 leaf- (Fig. 5B) and the silking stage (Fig. 5C), the plant height was increased by earlier application of nitrogen (N-39 and N-56). This means that applied nitrogen is unavailable under the low soil moisture condition, pF 2.5, though it was reported that corn is relatively insensitive to water demand during vegetative growth stages because the demand is relatively low (Payero *et al.* 2006).

It seems that sufficient condition of soil moisture

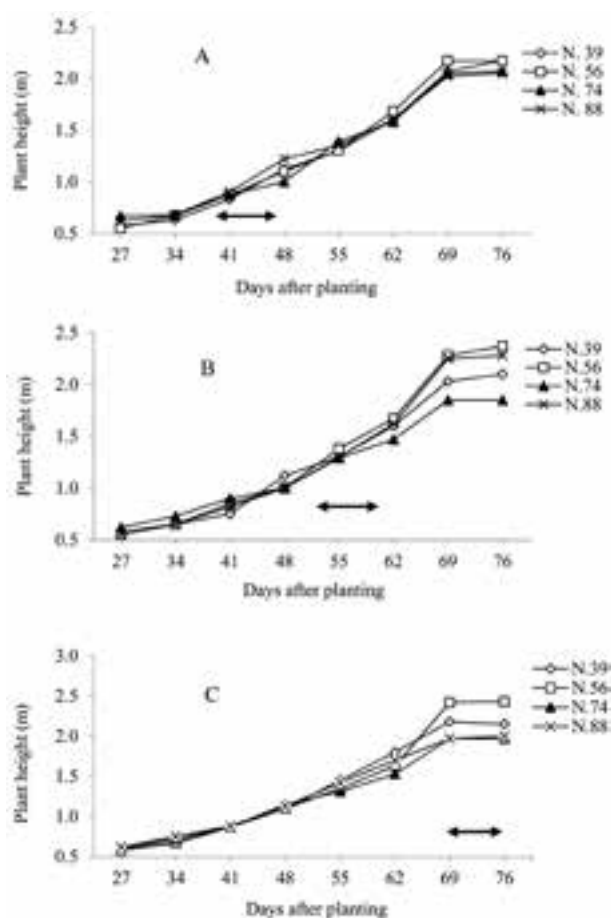


Fig. 5. Effect of nitrogen application timing on plant height when soil moisture was kept at pF 1.5 at different growth stage, 8 leaf- (A), 12 leaf- (B) or the silking (C) stage. \leftrightarrow ; Irrigation period. N 39–88; Dates of nitrogen application (days after planting).

during the 12-leaf and silking stages are predominant factor for corn growth rather than nitrogen application.

3.3 Leaf color

The effect of the timing of nitrogen dressing on leaf color of corn is shown in Fig. 6. The values show the averages among all irrigation treatments. During the 12-leaf stage, there was no significant change except for the rapid increase in the pots of early nitrogen supply (N-39), suggesting that previously applied nitrogen was remained and became available by water supply. Totally, leaf color was not affected greatly by the nitrogen treatment, and it in all treatments decreased rapidly after 88 DAP.

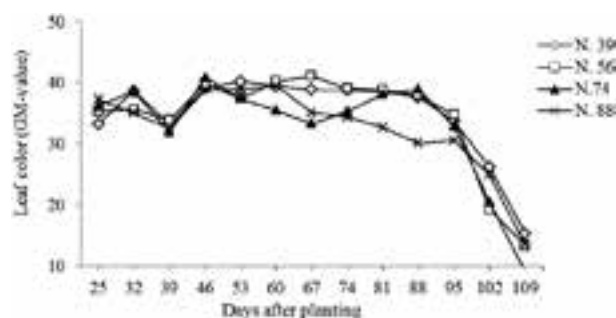


Fig. 6. Effect of nitrogen application on leaf color of uppermost unfolded leaves

3.4 Above ground biomass (AGB)

Fig. 7 shows the effects of irrigation and nitrogen treatment on AGB of corn. As mentioned before, the biomass production of corn is one of the important objectives of this research. AGB was not greatly affected by the timing of nitrogen application, but the greatest increase was achieved by the irrigation at silking stage (74 DAP) when nitrogen was added at 12-leaf stage (N 56), although significant difference was not detected ($P > 0.05$). It seems that the combination of irrigation at silking stage and nitrogen application at 12-leaf stage effectively stimulates the corn growth.

3.5 Grain yield

In this experiment, the ripened grain number was too little. This might be due to the infertility caused by too high temperature in greenhouse as shown in Fig. 3. The greenhouse temperature was not suitable for normal pollination of corn. However,

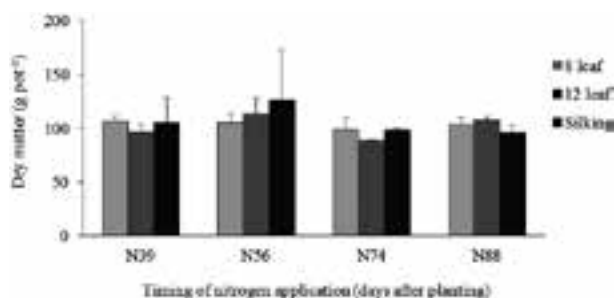


Fig. 7. Effects of irrigation and nitrogen treatment on corn biomass. Irrigation was carried out at 8-leaf, 12-leaf or silking stage. Bars show standard deviation

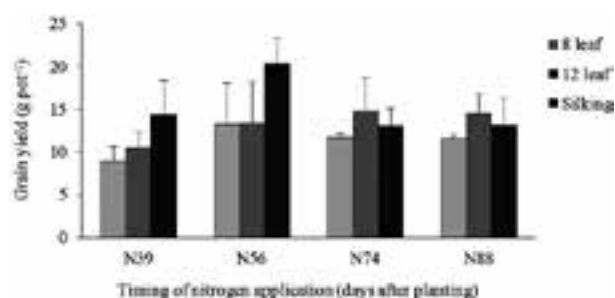


Fig. 8. Effects of irrigation and nitrogen treatment on grain yield. Irrigation was carried out at 8-leaf, 12-leaf or silking stage. Bars show standard deviation.

the highest grain yield was observed in the treatment of irrigation at silking stage combined with nitrogen application at 12-leaf stage (Fig. 8). This combination effect was similar to that for AGB (Fig. 7).

4 Conclusion

Corn plant height was not influenced by the timing of N dressing when soil moisture was kept at pF 1.5 during the period of 8-leaf stage, but during the 12-leaf and silking stages, the plant height differed based on their nitrogen condition. It seems that sufficient condition of soil moisture during these stages is a predominant factor for the corn growth rather than nitrogen application. The greatest AGB and grain yield were achieved by the combination of irrigation at silking stage and nitrogen supply at 12-leaf stage. However, since the grain yield was not in normal level because of inactive pollination in the greenhouse in midsummer, the further verification is needed.

It was clarified that there are the best timings of

irrigation and nitrogen application for the better biomass yield of corn. It seems reasonable to use the limited resources, water and nitrogen, based on plant physiological stages related to the yield components. The optimum combination of these factors is of a special great importance in arid and semi-arid countries like Afghanistan. However, since in this experiment the soil moisture condition during the 12-leaf and silking stages could not be precisely regulated because of too hot temperature, the more prudent researches will be needed.

5 References

- Argenta, G., da Silva P. R. F. and Sangoi. L. (2004) Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predicate Nitrogen fertilization in maize. *Ciencia Rural* 34 : 1379–1387.
- Blumenthal, J. M., Lyon D. J. and Stroup. W.W. (2003) Optimum plant population and nitrogen fertilizer for dryland corn in Western Nebraska. *Agronomy Journal* 95 : 876–883.
- Fageria, V., Baligar C., and Jones. C.A. (2003) Growth and Mineral Nutrition of Field Crops, Field crops and Mineral nutrition. Second Edition, New York.
- Kirda, P. M., Hera C., and Nielsen D. R.. (1999) Crop Yield Response to Deficit Irrigation, the Netherlands.
- Payero, J. O., Melvine S. R., Irmak S., and Tarkalson D. (2006) Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. *Agricultural Water Management* 84 : 101–112.
- Sadras, V. O. (2004) Yield and water-use efficiency of water-and nitrogen-stressed wheat crops increase with degree of co-limitation. *European Journal of Agronomy* 21 : 455–464.
- Yanai, H. (2000) Statistics for the excel with “Statcel”. OMS Publishing Ltd., Saitama.
- Yildirim, E. and Guvence I. (2005) Intercropping based on cauliflower : more productive, profitable and highly sustainable. *European Journal of Agronomy* 22 : 11–18.

原 著

FM 多摩丘陵における設置環境と無線通信品質の相関調査

大島 浩太^{*1}・原 宏^{*2}・萩原 洋一^{*3}・寺田 松昭^{*1}

Long term field investigation about nature environment and quality of wireless transmission in FM Tamakyuryo

Kohta OHSHIMA ^{*1}, Hiroshi HARA ^{*2}, Yoichi HAGIWARA ^{*3} and Matsuaki TERADA ^{*1}

One of the problem affecting wireless sensor networks in natural environment is the attenuation of radio waves due to high humidity and weather changes. This paper discusses the transmission performance in wireless sensor networks in terms of the relationships between wireless transmission performance, distance, and environmental conditions observed in field experiments. Measurements were made with sensor nodes equipped with a weather-sensing device at an experimental field of the university, called the Field Museum (FM) Tamakyuryo in Tokyo. The results confirmed that the humidity change affects performance of wireless transmission and the the distance between sensor nodes and the season of measurement affect the throughput and stability of data transmission.

Key words : wireless sensor network, transmission quality

本論文では、シミュレーションと実環境の差異の明確化と、農学研究での実利用を目標とした無線センサネットワークシステム実現に向けた、東京農工大学 FM 多摩丘陵で実施中の通信効率の変動調査実験について述べる。実験は、2.4 GHz 帯電波で問題となる無線電波の水分吸収が通信効率に与える影響と、端末の距離別の通信効率の長期的変動の 2 種類を実施した。前者から、実環境における湿度変化と通信効率間の相関関係を示し、湿度変化と変化の一要因である気象の予測を用いた通信制御方式実現の可能性を見出した。後者から、通信効率の安定・不安定期間の存在を確認し、また実験期間中に発生した台風による通信効率の変化から、季節による通信安定性を考慮した通信制御方式と、通信効率の異常な変化を利用した計測データの信頼性確認技術実現の可能性を見出した。今後は、実験のより長期的な実施と、今回得られた成果を用いた応用技術の開発を予定している。

キーワード：無線センサネットワーク、無線通信品質、通信環境計測

1. はじめに

無線センサネットワークは、無線通信機能を備えた膨大な数の小型機器が、相互に協調しながら周囲の環境情報を取得するという Smart Dust[1]の提唱

から始まり、バッテリー駆動の端末の利用を想定していることから、電力消費量の低減に主眼を置いた様々な通信方式や内部処理方式などが提案されてきた。しかし、膨大な数の小型端末の実環境への配置は、設置場所の準備の難しさや高コストであること

*1 東京農工大学大学院工学研究院情報工学専攻 〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16 : Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, 2-24-16 Nakacho, Koganei-shi Tokyo 184-8588, 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, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho, Fuchu-Shi, Tokyo 183-8509, Japan

*3 東京農工大学総合情報メディアセンター 〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16 : Information Media Center, Tokyo University of Agriculture and Technology, 2-24-16 Nakacho, Koganei-shi Tokyo 184-8588, Japan

から容易ではない。そのため、シミュレーションを用いた有効性の検証に留まっている研究が大半を占めている。シミュレーションは低コストで提案の有効性を示すには有効な手段である。しかし、無線通信は周囲の環境変化が通信品質に大きく影響を与えることが知られており、シミュレーションでは、実環境に適用した際の性能に懐疑的な面もある。さらに、センサネットワーク分野は、これまで具体的なニーズを想定せず研究開発が進められており、提案されている技術の数に比べて実用化の例が非常に少ないといった課題を有している。

本論文では、シミュレーションと実環境の差異の明確化と、農学研究での実利用を目標とした無線センサネットワークシステム実現に向けた東京農工大学FM多摩丘陵で実施中の通信効率の変動調査実験について述べる。無線センサネットワークで一般的に利用される、免許を必要としない2.4 GHz帯の電波は、電波の伝搬路中の水分により減衰することが広く知られている。本研究では、屋外に設置した無線通信機器について、周囲の水分量と通信効率の変化の関係および距離と通信効率の関係に注目した通信品質調査を実施した。2.4 GHz帯電波は、水分吸収の影響を強く受けるが、その周波数特性から空気中の水蒸気量や降雨そのものの影響は受けにくい周波数帯である。しかし、屋外における予備実験の結果から、異なる天候時において通信帯域の大幅な変動が認められた。そこで、FM多摩丘陵に耐環境性を確保した端末とセンサデバイスを設置し、定常的に通信品質（無線電波強度、通信帯域）と環境情報（温湿度・気圧）の取得・蓄積を実施することにした。電波干渉源である無線LANアクセスポイントが多数設置されている都市部と異なり、これらの存在しないFM多摩丘陵は、自然環境変化に起因する通信品質の調査に適している。

関連研究および研究事例について述べる。無線センサネットワークを用いた環境モニタリング事例に、新宿御苑と大学キャンパスによる実験[2]、火山[3]、氷河[4]、永久凍土[5]、野生動物[6]などがある。これらは、いずれも対象環境において確実な計測と通信できることが優先され、これまでに無線センサネットワーク分野で提案されてきた通信制御方式は採用されていない。環境モニタリング時の通信効率に着目した研究事例に、工場に設置した無線センサノード間のRSSIと温度変化の関係を1年間調査した研究[7]や、無線伝搬モデルを実機実装

し、1日程度の短期的な温・湿度とRSSIの関係調査の結果から、センサノードの配置手法を提案しているものがある[8]。前者は長期的な実験ではあるが、2.4 GHz帯無線電波の他の減衰要因である湿度を考慮しておらず、後者は計測期間が短いという課題がある。

本研究は、自然環境との親和性を備え、実用性の高い通信制御方式の開発を目的としている。

以下、実験の概要および結果について述べる。

2. 計測実験概要

FM多摩丘陵の管理棟前広場に小型ノートパソコンを用いて開発した無線センサノード2～3台を設置し、通信品質、環境情報を距離別に計測する実験を実施した。2010年5月に2台の無線センサノードによる通信効率と湿度の関係調査および自然環境に設置した電子機器の運用状況の観察[9]を行い、2011年5月からは前年度に得られた知見を基に改良した3台の無線センサノードによる、距離別の通信品質調査[10]を継続して実施している。図1に設置機材と場所の外観を示す。Sensor Box #1はFM多摩丘陵に既設のポールにプラスチック製防雨ボックス（未来工業製・ウォルボックス）の中に無線センサノードを格納している。Sensor Box #2, 3は、移動型スタンドに防雨ボックスを設置し、同様に無線センサノードを格納している。長期的な計測実験を実施するため、それぞれの無線センサノードは電源に直接つなぎ、電力供給に関する問題は生じないようにしている。無線センサノード間は15 mで設置した。これは、都市部において経験的に良好な無線通信が行える距離を考慮して決定した。

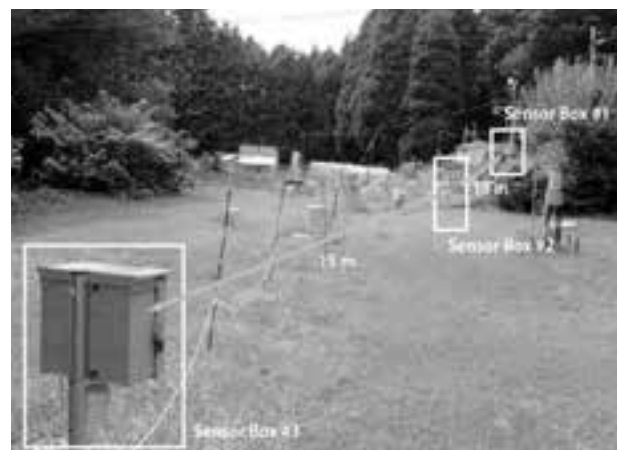


図1 設置機材の概要

3. 通信効率と湿度変化の関係調査

3.1 設置システム概要

通信効率（電波強度と通信帯域）と湿度変化の関係調査を目的とし、図2および表1に示す機材をFM多摩丘陵に設置した。防雨ボックス内に機材固定用の金具や紐などを取り付け、ネットブックおよびACアダプターを格納した。自然環境計測用のセンサデバイスとして、USBWeather v2（Spark Fun社）を利用した。このデバイスの仕様を表2に示す。SCP1000やSHT15といった広く利用されている素子が用いられており、USBインタフェース経由で端末に計測情報が1秒間隔で送信される。この



図2 実験機材（通信効率と湿度変化の関係調査）

表1 設置機材の仕様

項目	仕様
端末機種	IdeaPad S 10-2
OS	Ubuntu 9.04
CPU	Intel Atom 1.6 GHz
RAM	1024 MB
Wi-Fi	802.11 b/g (ad-hoc 接続)
Wireless Controller	Broadcom BCM 4315
Encryption	無し

表2 センサデバイスの仕様

機種	計測対象	性能
SCP 1000	気圧 温度	+ / - 150 Pascal + / - 0.3°C
SHT 15	湿度	+ / - 2%

実験では、ネットブックに備わった無線通信デバイス周辺の環境情報計測の必要性から、センサデバイスは防雨ボックス内に格納した。

3.2 実験概要

3.1節で述べた機材を、図1のSensor Box #1, 2の場所に設置し、2010年5月19~27日の期間に通信効率および環境情報を計測した。前者は10秒間隔で、後者は1秒間隔で計測している。前者の計測用に、無線電波強度はiwconfig（Wireless Tools ver. 29）を、通信帯域はIPerf（ver. 2.0.4）を用いた。期間中の降水量分布を図3に示す。梅雨の時期であるため、全体的に雨の期間が多い。特に、5月23日および24日は強めの雨であった。

3.3 実験結果と考察

図4にSensor Box #1, 2間の通信帯域の変化を、湿度の変化を図5に示す。通信帯域は、最少3.91 Mbps, 最大17 Mbps, 平均11.63 Mbps, 標準偏差1.71 Mbpsという結果になった。最大と最少で約4倍異なり、期間中の変動も大きいことが読み取れる。

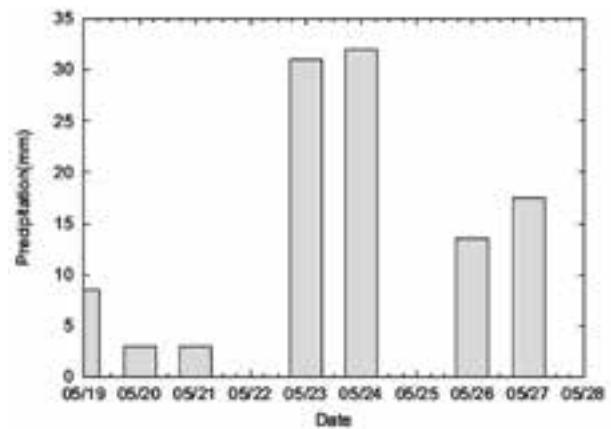


図3 2010/5/19~27の日降水量変化
（気象庁・東京都八王子市の気象データ）

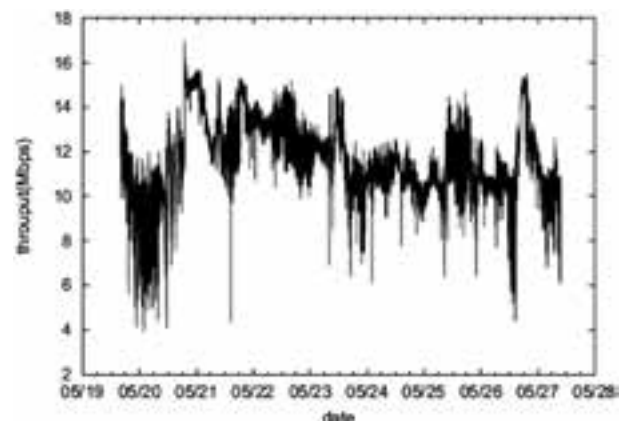


図4 Sensor Box # 1, 2間の通信帯域

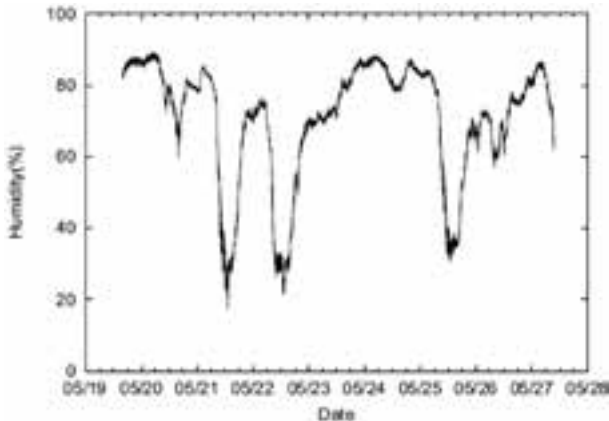


図5 湿度の変化

次に、2.4 GHz 帯の無線電波は水分により減衰することから、通信帯域と湿度の相関係数を求めたところ、 -0.299 という結果を得た。サンプル数 30,000 以上により求めた結果であり、通信帯域と湿度変化には負の相関があると考えられる。

このような設置環境の時間経過による変化は、Log-distance path loss model に代表される無線電波の伝搬モデルでは考慮されていないため、本研究の成果を応用することで、設置環境の状態変化が通信効率に与える影響を考慮した無線電波の伝搬モデルの構築が可能になると考えられる。また、気圧の変化から数時間後の天候が予測できるため、湿度の変化も推測することができる。そのため、気圧センサの計測値から通信環境の良い時間帯を予測することで、計測データの任意機器への効率的な伝送方式の開発も期待できる。通信効率の悪い状況では、通信そのものの失敗や、単位時間あたりの送信できるデータ量に制限が生じ、結果として電力消費量の観点からは非効率的な通信になる。これに対して、通信効率の良い状況をデータ送信に利用することで無駄な電力消費を抑えた通信が可能となる。環境情報計測用のセンサデバイスが必須になるため、一般的な無線通信方式への適用には制限が生じるが、環境情報の計測を目的とした無線センサネットワークにおいては有効な手段であると考えられる。

4. 距離別通信効率の長期的変動調査

4.1 設置システム概要

距離別の通信効率（電波強度と通信帯域）と環境情報の長期的計測を目的とし、図6に示す機材をFM多摩丘陵に設置した。防雨ボックス内のネットワークおよびセンサデバイスは3章で述べた仕様（表1, 2）と同じである。これに加えて、防雨ボック

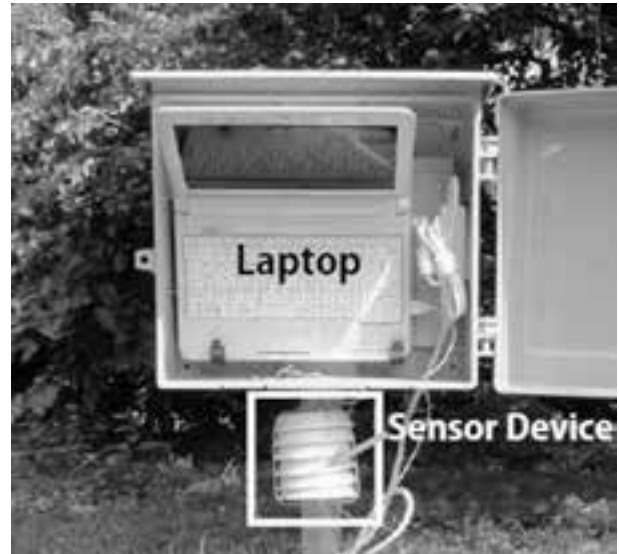
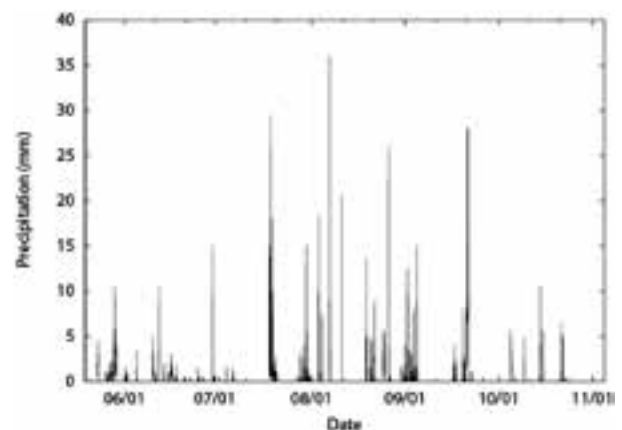


図6 実験機材（距離別通信効率の変動調査）

ス内は空気の流れが無い場合、正確な環境情報を取得するためにセンサデバイスを防雨ボックス外に取り付けた。樹脂製の白い鉢皿を、空気の流れを妨げずかつ雨が入り込まない程度の間隔を空けて連結した容器の中にセンサデバイスを格納している。

4.2 実験概要

4.1節で述べた機材を、図1のSensor Box #1, 2, 3の場所に設置し、2011年5月24から2011年11月現在まで、距離別の通信効率および環境情報の計測を続けている。前者は10秒間隔で、後者は1秒間隔で計測している。前者の計測用に、無線電波強度はiwconfig (Wireless Tools ver. 29) を、通信帯域はIPerf (ver. 2.0. 4) を用いた。期間中の降水量分布（時間平均）を図7に示す。実験期間は、梅雨、夏、秋にまたがり、また9月21日には東京地方に強い勢力の台風が上陸しており、環境条件が様々に変化している。

図7 2011/5/24~11/04の1時間降水量変化
(気象庁・東京都八王子市の気象データ)

4.3 実験結果と考察

図8-10に、それぞれの無線センサノード間で計測した通信帯域における1時間毎の平均値の変化を示す。Sensor Box # 1, 2 および # 2, 3 間はそれぞれ15 m、# 1, 3 間は30 m 離れている。これらのグラフから分かる興味深い事項として、15 m 間隔の2組のノード間については、梅雨の時期の通信帯域は不安定であり、それ以外は安定しているといった類似の傾向になっている。しかし、設置距離や設置環境の条件は類似しているにも関わらず、通信帯域の最大値・平均値は異なる結果を示している。30 m 間隔のノード間は、梅雨の時期は15 m の2組同様に不安定であり、また期間全体を通じて不安定になっていた。センサノードの設置環境は、それぞれのセンサノード間の見通し範囲内には障害物は無いものの、電波の反射面である地面とは十分に離れていないため、自由空間ではない。したがって、土壌水分量変化や植物の生育が無線電波の減衰要因である可能性が考えられる。

実験期間中に発生した強い勢力の台風(15号・2011年9月21日)の通過中に、通信帯域の大幅な下降が計測された(図9, 10)。下降は9月21日17時から翌日9時まで続いている。実験環境において、台風は14~19時頃の勢力が最も強く、通信帯域の下降期間とは一部重複している。しかし、図8では台風の通過期間中の通信帯域の大幅な下降は計測されなかった。この要因の可能性の1つとして、Sensor Box # 3の転倒が考えられる。正確な転倒時刻は不明であるが、9月22日の朝に転倒状態から通常状態に立て直している。設置している3台の内、転倒していたのは# 3 だけであり、残り2台は通常状態であった。これは、通信帯域の下降が計測された図9, 10に# 3が含まれている点と一致している。そのため、転倒により水分量の多くなった地面と無線センサノードが近付き、結果として無線通信品質が低下した可能性が考えられる。しかし、台風通過前後の環境条件は、短期的な強い降雨や風速、気圧の大幅な下降といった、通常時とは異なる気象状況である。そのため、無線センサノードの設置高度や周囲の状況を変化させた場合の通信帯域測定実験を行い、原因を特定する必要がある。

次に、前述の通信効率計測期間の環境情報(温度、湿度、気圧)を図11-13にそれぞれ示す。図は、それぞれ Sensor Box # 3 が計測した結果である。計測実験中に、# 1 のセンサデバイスは9月21日の

台風通過中に故障、# 2 のセンサデバイスは6月10日に故障していた。本実験で設置した機材は、センサデバイスの交換時にネットブックの停止と再起動を伴う。その期間は無線通信品質の計測も中断されるため、センサデバイスは故障状態のまま、無線通信品質の計測を継続した。しかし、実際の環境モニ

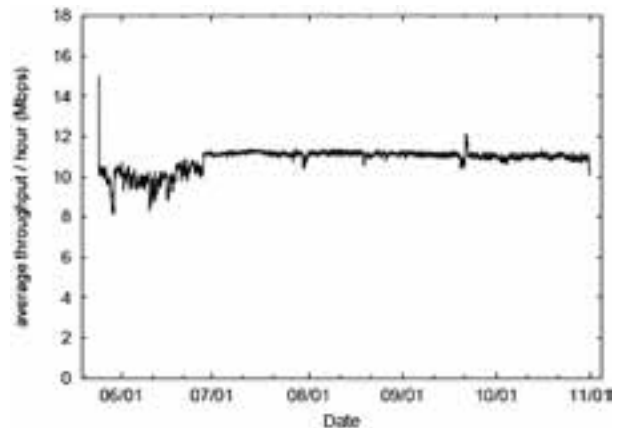


図8 Sensor Box # 1, 2 間 (15 m) の通信帯域 (時間平均)

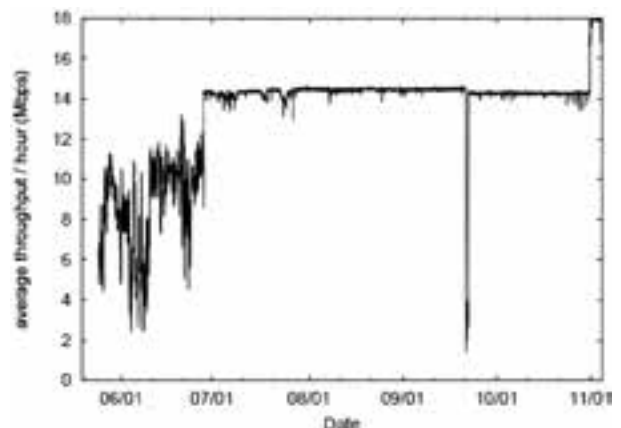


図9 Sensor Box # 2, 3 間 (15 m) の通信帯域 (時間平均)

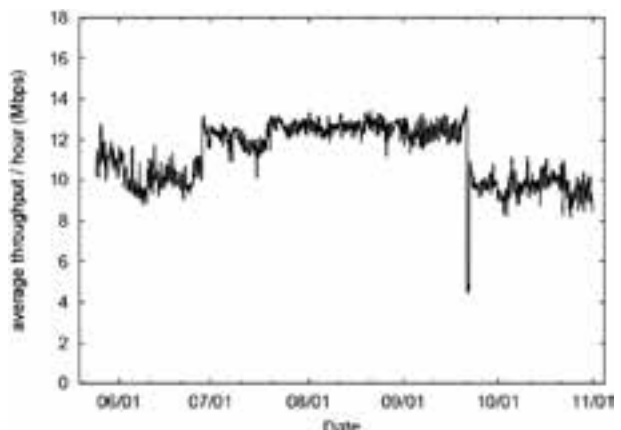


図10 Sensor Box # 1, 3 間 (30 m) の通信帯域 (時間平均)

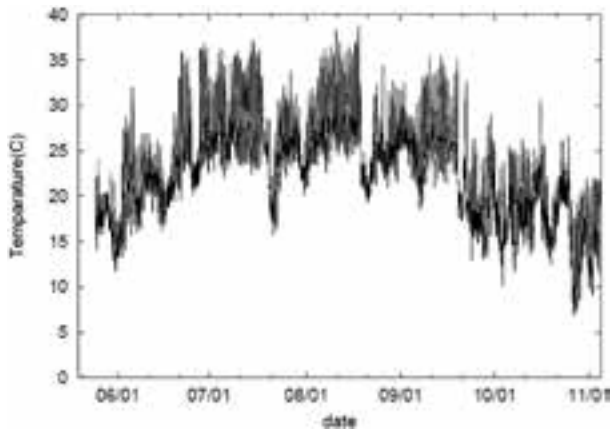


図11 実験期間中の温度変化
(Sensor Box # 3)

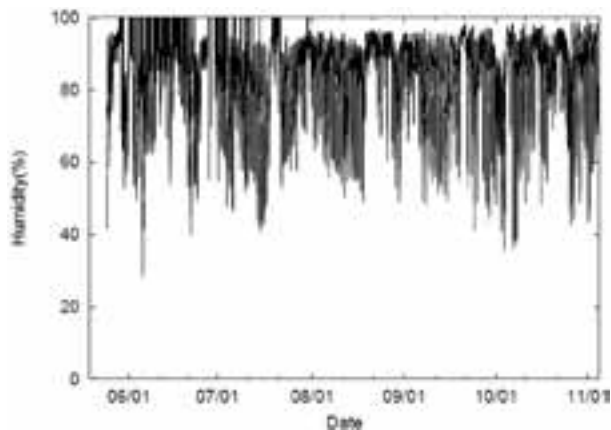


図12 実験期間中の湿度変化
(Sensor Box # 3)

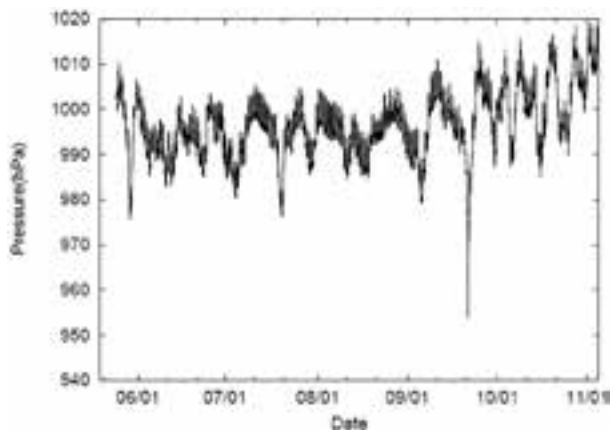


図13 実験期間中の気圧変化
(Sensor Box # 3)

タリングでは、センサデバイスの故障の検知と速やかな交換が求められる。無線センサノードの通信機能が正常動作していれば、センサデバイスの故障を無線センサネットワークの運用者に通知することが可能である。また、今回は比較的近距離かつ見通しの良い環境に3台の無線センサノードを設置してい

たため、それぞれの地点で計測する温湿度・気圧は、設置場所による差異の影響は小さいと判断した。故障前までに計測していた環境情報は、センサデバイスの機差による誤差は認められるものの、計測値の変化の傾向はそれぞれの地点で類似していた。

本実験からは、通信効率の安定・不安定期間を考慮した通信方式と、通信効率の変化から無線センサノードの障害を検知する技術実現の可能性が考えられる。前者については、通信効率の安定時期と不安定期間を区別し、それぞれの期間において効率的なデータ伝送が可能な通信制御方式を選択的に利用するなど、設置場所の環境条件の変化と親和性の高い通信制御方式の実現が期待できる。後者については、無線センサノードの障害発生を、通常とは異なる通信効率変化から検出する技術の実現が期待できる。一般的に、環境モニタリングを実施する場合、環境情報を計測した条件の把握も重要である。計測条件の変化は、計測値の信頼性に影響を与える恐れがある。そのため、通信効率の変化から無線センサノードの障害を検知できれば、計測値の信頼性の判断に利用できると考えられる。また、多くの無線センサノードが自律分散的に協調しながら、計測したデータを任意ノードに伝達する無線センサネットワークにおいて、安定した通信トポロジー実現の観点からも障害の検知は重要事項である。

6. むすび

本論文では、我々がこれまでにFM多摩丘陵で実施してきた2種類の実験について、その概要と得られた結果について述べた。防雨ボックスに格納したネットブックから構成される無線センサノードを実際に設置し、通信効率と環境情報の計測実験を行った。通信効率と湿度変化の関係調査では、湿度変化と通信効率間の相関関係を明らかにし、成果を応用した通信制御方式の可能性について言及した。距離別通信効率の長期的変動調査では、15 m 間隔で設置した3台の無線センサノード間の通信効率を2011年5月から11月現在まで計測し続けている。長期的な計測実験を通して、通信効率の安定・不安定期間の存在と、距離による安定性の違いも確認できた。本実験の成果を応用した通信制御方式の可能性についても言及した。

今後は、実験のより長期的な継続や、通信効率変動の詳細な解析と変動要因の特定、成果を踏まえた

通信制御方式への応用を予定している。

謝辞

本研究の一部は、科研費 (21700069) の助成を受けている。

参考文献

- 1) J. M. Kahn, R. H. Katz, and K. S. J. Pister. "Next Century Challenges: Mobile Networking for "Smart Dust".", ACM MobiCom 1999, pp. 271–278, 1999.
- 2) 伊藤昌毅, "センサネットワーク技術を活用した環境モニタリングの実現", 電気学会次世代産業システム研究会, IIS-10-070, pp. 23–28, 2010.
- 3) G. Werner-Allen, K. Lorincz, M. Welsh, O. Marcillo, J. Johnson, M. Ruiz, and J. Lees, "Deploying a wireless sensor network on an active volcano," IEEE Internet Computing, vol. 10, no. 2, pp. 18–25, 2006.
- 4) K. Martinez, P. Padhy, A. Elsaify, G. Zou, A. Riddoch, J. Hart, and H. Ong, "Deploying a sensor network in an extreme environment," Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, International Conference on, vol.1, pp. 186–193, 2006.
- 5) A. Hasler, I. Talzi, C. Tschudin, and S. Gruber, "Wireless sensor networks in permafrost research-concept, requirements, implementation and challenges," in Proc. 9th International Conference on Permafrost (NICOP 2008), 2008.
- 6) V. Dyo, S. A. Ellwood, D. W. Macdonald, A. Markham, C. Mascolo, B. Pasztor, S. Scellato, N. Trigoni, R. Wohlers, and K. Yousef, "Evolution and sustainability of a wildlife monitoring sensor network", In Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '10), pp. 127–140, 2010.
- 7) C. A. Boano, J. Brown, N. Tsiftes, U. Roedig, T. Voigt, "The Impact of Temperature on Outdoor Industrial WSN Applications", IEEE Trans. Industrial Informatics, pp. 451–459, 2010.
- 8) Y. Chen and A. Terzis, "On the implications of the lognormal path loss model: an efficient method to deploy and move sensor motes", In Proceedings of the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '11), pp. 26–39, 2011.
- 9) K. Ohshima, H. Hara, Y. Hagiwara, M. Terada, "Field Experiments for Developing Transmission Control Based on Weather Estimation in an Environmental Wireless Sensor Network", 2010 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC 2010), pp. 25–30, 2010.
- 10) K. Ohshima, H. Hara, Y. Hagiwara, M. Terada, "Field Investigation of the Radio Transmission Performance and Distance in a Environmental Wireless Sensor Network", The International Conference on Information Networking (ICOIN 2012), 2012.

研究資料

ブルーベリーに関する最近の研究成果

伴 琢也

New research results for blueberries

Takuya BAN

1. はじめに

我が国におけるブルーベリーに関する本格的な研究は故・岩垣駿夫先生（元東京農工大学農学部教授）による「ブルーベリーの生産開発に関する研究」が始まりである。以来、多くの研究者により本果樹の成長・成熟生理が解明され、その知見にもとづいた様々な栽培技術が提唱されている。筆者は2000年1月に島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センターにて初めてブルーベリーの成木に出会い、植田尚文島根大学名誉教授の御指導のもとで本果樹を対象とした研究を開始した。その後、早10年が経過したが、その間においてもブルーベリーに関する多くの知見が報告されている。本稿では我が国におけるブルーベリーの栽培状況と最近の研究成果を紹介する。

2. 原産国と我が国における栽培の現状

ブルーベリーは米国原産のツツジ科スノキ属の落葉性低木果樹である（Vander Kloet 1988）。本果樹のうち、経済栽培上、重要な種（species）としてローブッシュ、ハイブッシュおよびラビットアイブルーベリーの3種が知られている。ローブッシュブルーベリーは、米国北東部とカナダの一部に原生する *Vaccinium angustifolium* Ait. および *Vaccinium myrtilloides* Mich. などに由来し、別名ワイルドブルーベリーと呼ばれる野生種である。収穫されたローブッシュブルーベリー果実のほとんどが各種加工品の原料として利用されている。ハイブッシュブルーベリーは主に米国北東部に原生する *Vaccinium corymbosum* L. など、またラビットアイブルーベリーは米国南東部に原生する *Vaccinium virgatum*

Aiton に由来し、これらには多数の栽培品種が存在する（Eck 1966）。我が国へのブルーベリーの導入はハイブッシュブルーベリーが1951年、ラビットアイブルーベリーが1962年であり、1981年には栽培面積が10 haに達した。近年、我が国における栽培面積は増加しており（図1）、農林水産省が実施した特産果樹生産出荷実績調査によると、2007年における栽培面積は852.9 haであり、収穫量は1,808 t、主要産地は長野県・群馬県・埼玉県となっている（農林水産省 2009, 表1）。ブルーベリーの栽培面積が増加している背景には、国民の健康志向の上昇と果実に豊富に含まれる植物色素アントシアニンが有する様々な生体機能性（視機能改善作用、抗腫瘍機能、生体過酸化防止機能など）が広く消費者に認知されたことが要因の一つとして考えられる。果実の用途について、収穫量の約80%が生食用として、残りの約20%がジャム、ソース、ワインなどの加工用として消費されている。我が国におけるジャ

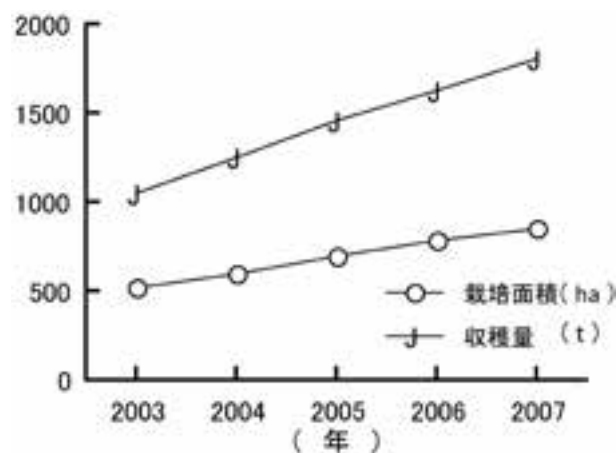


図1. 我が国におけるブルーベリーの栽培面積と収穫量の推移

*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: Field Science Center, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho Fuchu-shi, Tokyo, 183-8509, Japan

表1. ブルーベリーの都道府県別生産量 (2007年)

都道府県名	栽培面積 (ha)	収穫量 (t)	出荷量 (t)	出荷量のうち 加工向け (t)	主要産地名 (市町村名)
北海道	23.9	29.7	29.3	12.7	仁木町
青森	37.6	44.5	27.6	17.1	八戸市, 十和田市, 東通村
岩手	54.0	96.6	94.2	69.5	岩手町, 岩泉町, 盛岡市
宮城	28.0	37.7	29.0	6.8	蔵王町, 大崎市, 富谷町
秋田	19.2	10.5	6.4	1.4	鹿角市, 大館市, 由利本荘市
山形	14.3	27.0	14.9	8.0	鶴岡市, 寒河江市, 尾花沢市
福島	17.9	14.8	9.9	7.1	三春町, 棚倉町, 郡山市
茨城	70.7	198.9	162.3	1.2	つくば市, かすみがうら市, 石岡市
栃木	15.2	12.9	9.5	3.9	大田原市, 茂木町, 佐野市
群馬	90.6	123.5	79.9	1.3	渋川市, 川場村, 沼田市
埼玉	65.3	112.7	87.5	4.7	狭山市, 美里町, 熊谷市
千葉	25.5	68.2	42.9	2.7	君津市, いすみ市, 市原市
東京	30.1	142.6	59.6	5.7	八王子市, 小平市, 国分寺市
神奈川	9.9	50.8	13.2	5.0	横浜市, 小田原市, 相模原市
山梨	18.5	28.0	22.0	-	北社市, 富士河口湖町
長野	108.0	351.0	210.0	32.0	長野地域, 北信地域, 佐久地域
静岡	15.7	20.6	17.6	7.9	静岡市, 浜松市, 菊川市
新潟	10.8	90.2	79.7	4.2	上越市, 阿賀野市, 胎内市
富山	0.7	0.8	0.8	-	氷見市
石川	10.7	17.2	11.7	6.8	能登町
福井	4.9	4.5	3.5	1.0	おおい町, 坂井市
岐阜	3.2	6.2	3.2	-	郡上市, 多治見市, 下呂市
愛知	7.1	7.6	4.1	2.8	豊根村, 新城市, 豊田市
三重	1.3	0.1	0.1	-	松阪市
滋賀	10.2	20.9	20.7	1.2	米原市, 野洲市, 愛荘町
京都	2.7	2.7	0.9	-	京都市, 南山城村, 南丹市, 京丹後市
兵庫	4.3	4.7	1.6	0.6	養父市, 洲本市, 宍粟市
大阪	0.6	0.4	0.3	0.1	河内長野市, 富田林市
奈良	11.3	27.9	27.9	8.7	宇陀市, 奈良市, 五條市
和歌山	5.9	22.1	19.9	1.4	和歌山市, 紀の川市, 有田川町
鳥取	13.0	7.1	0.4	0.4	江府町, 大山町
島根	21.5	12.1	6.9	3.8	雲南市, 大田市, 邑南町
岡山	9.2	2.5	1.4	0.4	吉備中央町, 真庭市
広島	6.8	29.2	21.7	18.3	大崎上島町, 神石高原町, 福山市
山口	1.4	2.9	2.5	-	下関市, 長門市, 周南市
徳島	2.0	6.0	5.9	5.0	小松島市, 美馬市, 東みよし町
愛媛	10.9	37.8	36.6	0.8	松山市, 伊予市, 砥部町
福岡	13.6	34.1	32.6	13.1	久留米市, 北九州市, うきは市
佐賀	0.8	10.6	9.8	0.3	鳥栖市, 多久市, 佐賀市
長崎	0.8	0.8	0.7	-	対馬市, 平戸市
熊本	15.6	44.9	44.4	43.2	山都町, 西原村
大分	23.4	9.8	8.2	1.1	九重町, 由布市, 玖珠町
宮崎	6.7	14.5	13.6	0.5	都城市, 西都市, 宮崎市
鹿児島	9.1	20.4	12.5	6.8	霧島市, 湧水町, 大口市
計	852.9	1,808.0	1,287.4	307.5	

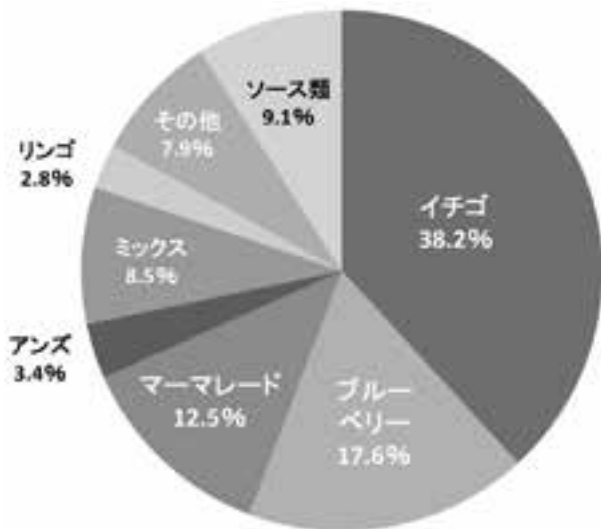


図2. 我が国におけるジャム類の種類別生産割合(2008年)

ム類の総生産量に占めるブルーベリージャムの割合は比較的高いにもかかわらず（日本ジャム工業組合2010, 図2), 原材料のほとんどは輸入に頼っている。ブルーベリーの栽培面積は今後も増加する傾向にあるものと考えられ, 果実の安定供給を可能とする経済栽培技術の確立が求められている。

3. ブルーベリーの特徴 —果実の成熟生理—

ブルーベリーは同一樹の結果枝内, さらには果房内において個々の果実の成熟開始期が異なる。そのため, 収穫は適熟果実を順次選択する必要がある, 収穫期間は一カ月以上におよぶ。本果樹の果実の成熟に関する早晩性については多くの報告があり, 玉田(1998)はブルーベリーは着果枝の先端から基部に向かって, 同一果房内では基部から先端に向かって開花するが, 開花の早晩と果実の成熟開始期は直接関係ないことを報告している。また, ブルーベ

リーの果実は同一品種でも早期に成熟した果実は晩期に成熟したものよりも大きく, 種子数も多い傾向にあることが報告されている(岩垣・玉田1971; Moore *et al.* 1972)。さらに Kushima・Austin (1979) は, ラビットアイブルーベリー21品種の果実中の種子数とその大きさを調査し, 大粒の果実には多くの種子と大型の種子が多く含まれているとしており, 以上の研究報告からもブルーベリー果実の肥大と成熟には含有する種子の影響が非常に大きいものと推測される。

前述の通り, ブルーベリーの収穫期間は長期にわたる。その間において, たとえ外観上の同一成熟段階の果実でも, 内成分は収穫時期により異なる場合がある。筆者が5品種3系統のラビットアイブルーベリーを供試して, 適熟果実の果汁中の可溶性固形物含量を収穫期間を通じて調査したところ, 'Bluebelle', 'Homebell', T-142, T-100のそれは収穫日が遅くなるにしたがって有意に増加することが明らかになった(伴ら 2003, 表2)。可溶性固形物含量の増加については, 果実の収穫にともなって果房内に残存する果実数が減少し, その結果として果実あたりの葉からの光合成同化産物の転流量が増加したためと考えられる。可溶性固形物含量以外にも, ペクチン, セルロース, ヘミセルロースをはじめとする果肉中の細胞壁構成成分がたとえ同一成熟段階の果実でも, その収穫時期により異なることが明らかにされている(伴ら 2010 a)。

以上のように, ブルーベリーの果実品質はその収穫時期により大きく変化する。実際の生産現場においても, 収穫時期により果実の食味が大きく変化することはよく知られており, 特に収穫初期の大型の果実は生食用として, 晩期の小型の果実は加工用と

表2. ラビットアイブルーベリー 'Bluebelle' の収穫果実品質

(2000年調査)

収穫日	果実重 (g)	果実横径 (mm)	果実縦径 (mm)	可溶性固形物含量 (Brix°)	滴定酸含量 (g/100 ml 果汁)	アントシアニン含量 (O.D. at 525 nm)
7月17日	2.2±0.1 ^z	16.5±0.3	13.0±0.2	7.4 b ^y	0.98 NS ^x	0.89 NS
7月22日	2.0±0.1	15.5±0.3	12.3±0.2	7.8 b	0.94	0.94
7月27日	1.9±0.1	15.2±0.2	12.2±0.2	8.0 b	0.89	0.94
8月1日	1.5±0.1	14.5±0.3	11.7±0.3	9.6 ab	0.89	1.01
8月6日	1.3±0.1	12.9±0.2	10.3±0.2	10.8 a	0.96	1.07

z: 平均値±標準誤差

y: Tukeyの多重検定により, 異なる文字間に5%水準で有意差あり

x: 有意差なし

して利用されている。果実中の糖含量や細胞壁成分はジャムなどの加工品の性状に非常に大きな影響をおよぼすことから、果実の用途と内成分の変化を考慮した収穫体系の設定が必要である。また、ブルーベリー果実の成熟生理現象の解明のためには経時的な調査に加えて、果実の成熟特性を十分考慮に入れた実験区の設定が今後必要になるものと考えられる。

4. ブルーベリーの特徴 —根系発達特性の解明と画像解析—

ブルーベリーは他の一般的な落葉果樹と異なり酸性土壌を要求する。樹体の成長に好適な土壌の pH はハイブッシュブルーベリーで4.0~5.2, ラビットアイブルーベリーで4.2~5.5とされている (玉田 1997)。また、根は非常に細いことから硬い土壌では成長が著しく制限され、根群の分布も浅層に限定される。以上のような理由により、ブルーベリーの原産国ではない我が国において、本果樹を栽培するためには土壌改良が必須となる。具体的には、植え穴の中にピートモスや暗渠資材を投入して土壌の物理性を改善した後に苗を定植し、保水性の向上を目的として有機物を利用したマルチを設置する方法である。このように我が国におけるブルーベリーはかなり特殊な土壌環境下で成長しているといえ、根系発達特性も原産国におけるものと大きく異なることが予想される。これまでもブルーベリーの根系発達特性を調査した例は非常に多くある。しかし、ブルーベリーの根系は非常に細い根で構成されるため、根部の採取が非常に困難であり、その解析項目も限定されていた。近年のパーソナルコンピュータの性能向上は著しく、比較的安価に画像解析を行うことが可能になった。そのなかで木村 (1998) はフリーの画像解析ソフトを利用して根長と根径を測定する方法を開発した。本手法では根のサンプリング後、染色し、パーソナルスキャナーを用いて画像を取り込み、画像解析するものである。実際、本手法により、カーネーションとツツジの根系が解析されている (小林ら 2010; 間下・今井 2008)。著者も本手法を用いてブルーベリーの根系解析を試みており、安価で比較的簡単に根長と根径を測定できることを確認している (伴ら 2010 b, 図3)。また最近では根系内にパーソナルスキャナーを設置し、根の発達状況を経時的に測定する試みがキャベツなどを供試して行われており、本果樹への応用も期待される (小野ら 2010)。



図3. ラビットアイブルーベリー 'Tifblue' 2年生挿し木苗の根系解析の様子

5. おわりに

2007年現在、我が国では43都道府県でブルーベリーが栽培されている。また、最近ではほぼ一年を通じて簡単に生食用の果実を入手できるようになった。しかし、本果樹は農林水産省の統計資料では特産果樹に分類されており、未だマイナークロップの域を脱したとは言えない。現在の我が国におけるブルーベリーの生産量が需要に占める割合はわずかであり、安全で安心な国産果実を安定的に流通させるためには増産を可能とする栽培技術の確立が必須である。今後はここ東京農工大学農学部附属広域都市圏FS教育研究センターにて、ブルーベリーの栽培技術の革新を目的とし、特に根系発達に注目して研究を行っていく予定である。

引用文献

- 伴 琢也・山口雅篤・吉永好明・小川智広・植田尚文 (2003) 収穫期間を通じたラビットアイブルーベリーの果実品質の比較. 農業生産技術管理学会誌 10:9-14.
- 伴 琢也・今野里美・宮下和也・石丸 恵・板村裕之 (2010 a) 成熟期間を通じたラビットアイブ

- ブルーベリーの果肉中の細胞壁成分の変化. 園芸学研究 9 (別2): 403.
- 伴 琢也・串崎可奈恵・足立文彦・小林伸雄・浅尾俊樹 (2010 b) 培養土における鹿沼土の混合比率がブルーベリー挿し木苗の根系発達に及ぼす影響. 園芸学研究 9 (別1): 295.
- Eck, P. (1966) Botany. In Blueberry culture, Eck, P. and Childers, N. F. (eds.), 378 pp, Rutgers Univ. Press, New Brunswick: 14-44.
- 岩垣駿夫・玉田孝人 (1971) ラビットアイブルーベリー果実の横径生長と熟期および種子数との関係について. 園芸要旨昭46春: 10-11.
- 木村和彦 (1998) 画像解析による根長と根の直径の測定-その1. 実践編-. 根の研究 7: 8-11.
- 小林伸雄・宮崎まどか・伴 琢也・中務 明・足立文彦 (2010) 常緑性ツツジ挿し木苗における根系の特性について. 園芸学研究 9: 25-29.
- Kushima, T. and Austin, M. E. (1979) Seed number and size in rabbiteye blueberry fruit. HortScience 14: 721-723.
- 間下なぎさ・今井克彦 (2008) 根箱, スキャナ及びパソコンを用いたカーネーション根の形態解析. 愛知県農業総合試験場研究報告 40: 65-68.
- Moore, J. N., Reynolds, B. D. and Brown, G. R. (1972) Effects of seed number, size, and development on fruit size of cultivated blueberries. HortScience 7: 268-269.
- 日本ジャム工業組合 (2010) <http://www.jca-can.or.jp/~njkk/> (2010年9月24日確認)
- 農林水産省 (2009) 農林水産統計 平成19年特産果樹生産動態等調査.
- 小野勇治・根本知明・武田容枝・三浦吉則 (2010) キャベツの定植前リン酸苗施用における改良型ミニライゾトロン法を用いた根伸長反応の解析. 園芸学研究 9 (別2): 491.
- 玉田孝人 (1997) ブルーベリー生産の基礎 [10]. 農業および園芸 73: 529-534.
- 玉田孝人 (1998) ブルーベリー生産の基礎 [19]. 農業および園芸 73: 77-84.
- Vander Kloet, S. P. (1988) The genus Vaccinium in North America. 201 pp, Canadian government publishing centre supply and services, Ottawa: 57-156.

研究資料

東京農工大学フィールドミュージアム多摩丘陵で捕獲された
ホンダタヌキとニホンアナグマの体サイズ蔵本 洋介^{*1}・金子 弥生^{*2}Body size of raccoon dogs and Japanese badgers trapped in the Field Museum
Tamakyuryo, Tokyo University of Agriculture and TechnologyYosuke KURAMOTO^{*1}, Yayoi KANEKO^{*2}

A trapping survey was carried out at the Field Museum Tamakyuryo in a forested area, Tokyo University of Agriculture and Technology, between 18th October 2010 and 7th November 2010. Three raccoon dogs (*Nyctereutes procyonoides viverrinus*) and four Japanese badgers (*Meles anakuma*) were captured. Both species showed higher body weight in FM Tamakyuryo than those in other natural areas, indicating better nutritional condition, as well as anthropogenic food usage outside of the FM Tamakyuryo.

Key words : FM Tamakyuryo, badger, raccoon dog, box trap

2010年10月18日から11月7日にかけて、東京都八王子市堀之内に位置する東京農工大学フィールドミュージアム多摩丘陵において、中型哺乳類を対象とした捕獲調査を試みた。ホンダタヌキ (*Nyctereutes procyonoides viverrinus*) 3 個体、ニホンアナグマ (*Meles anakuma*) 4 個体が捕獲された。いずれの種においても、体重が他地域を上回っており、栄養状態が良いこと、および敷地外における人工的な食物の利用の可能性が示唆された。

キーワード : FM 多摩丘陵, ホンダタヌキ, ニホンアナグマ, 箱罠

1. はじめに

野生動物の生態調査において、体重や体サイズなどの計測値は、個体レベルの成長や栄養状態などの情報をあらし、ひいては餌資源を中心とした個体群レベルの生息地の保護管理について考察することを可能にする (Sinclare *et al.*, 2006)。日本に生息する中型食肉目の研究では、個体追跡のための生体捕獲および保定調査時に、外部計測値や栄養状態、繁殖状態のデータを蓄積することで、栄養診断分野にも寄与してきた (浅野ほか, 2006)。

本論文では、東京都八王子市堀之内に位置する東京農工大学附属施設であるフィールドミュージアム多摩丘陵 (以下 FM 多摩) において捕獲されたホンダタヌキ (以下タヌキ) とニホンアナグマ (以下アナグマ) の体サイズの計測結果を記載する。

2. 方法

捕獲は、FM 多摩の敷地内面積約12.6 ha の地域において行った。

2.1 捕獲

2010年10月18日から11月7日にかけてのべ14日間に、中型食肉目の捕獲を目的として、箱罠計5台 (Woodstream 社, USA, 片開き踏み板式, 長さ81.5 × 縦26.5 × 横31.5 cm を4台, Woodstream 社, USA, 両開き踏み板式, 長さ107.0 × 縦25.4 × 横33 cm を1台) を設置した。罠の設置地点はのべ8ヶ所で、捕獲状況に応じて移動した (図1)。誘引餌として魚肉ソーセージ, ドッグフード, スナック菓子をを用いた (図2)。

2.2 計測

捕獲個体は塩酸ケタミンおよび硫酸アトロピンを

*1 東京農工大学農学部 Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

*2 東京農工大学大学院農学研究院 Institutes of Agricultural Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

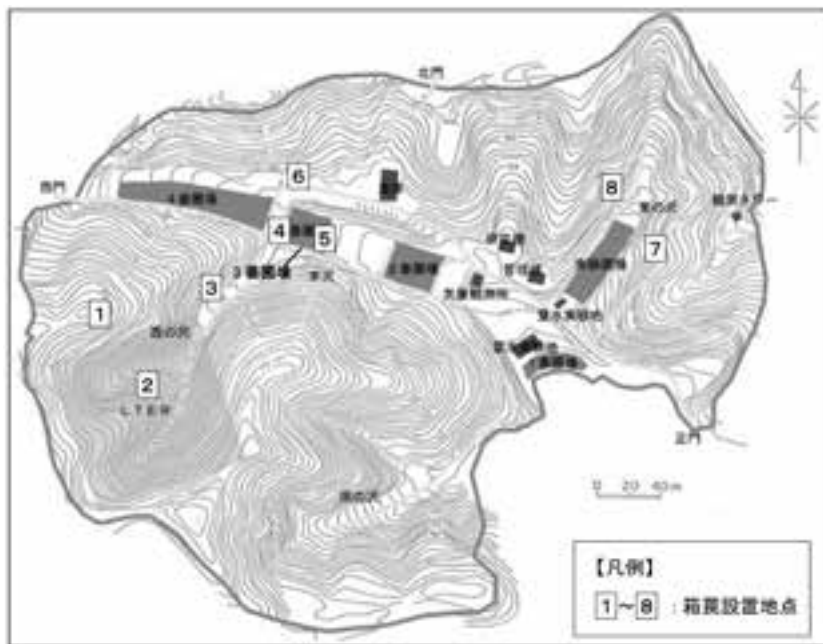


図1. 捕獲罠の設置位置



図2. 捕獲罠に入ろうとするタヌキ

用いて不動化し(岸本・金子, 2005), 浅野ら(2006)の食肉目の計測方法にならって体重, 全長, 尾長, 頭胴長(全長-尾長), 後足長を計測した。年齢区分は, 歯の萌出と摩耗により当才と成獣(2才以上)に区分した。また, 再捕獲時の個体識別を目的として背側肩部の皮下に埋め込み器(インプランター)を用いて, マイクロチップ(トローバン ISO型)の埋め込みを行った(環境省, 2005)。

3. 結果および考察

捕獲された個体は, タヌキ3個体(当才メス1個体, 成獣オス1個体, 成獣メス1個体, 表1, 図3, 図4), アナグマ4個体(成獣オス1個体, 成獣メス3個体, 表2, 図5)であった。捕獲したタヌキ

表1. FM 多摩丘陵において捕獲されたタヌキの計測値

測定項目	No.1	No.2	No.3
捕獲日	2010.10.22.	2010.10.27.	2010.11.3.
捕獲地点	4	6	2
再捕獲日	2010.10.25. 2010.11.2.	2010.11.3.	2010.11.5.
再捕獲地点	5	6	2
年齢区分	当才	2才以上	2才以上
性別	メス	オス	メス
体重(kg)	2.6	6.0	5.1
全長(mm)	625	822	760
尾長(mm)	150	172	110
頭胴長(mm)	475	650	650
後足長(mm)	106	115	110



図3. 捕獲されたタヌキ (No. 1)



図5. 捕獲されたアナグマ (No. 2)



図4. 捕獲されたタヌキ (No. 2)



図6. 計測の様子 (タヌキ No. 1)

表2. FM 多摩において捕獲されたアナグマの計測値

測定項目	No.1	No.2	No.3	No.4
捕獲日	2010.10.28.	2010.10.23.	2010.10.28.	2010.11.4.
捕獲地点	8	1	5	8
再捕獲日		2010.11.2.		
再捕獲地点		3		
年齢区分	2才以上	2才以上	2才以上	2才以上
性別	オス	メス	メス	メス
体重 (kg)	9.5	7.7	12.9	10.8
全長 (mm)	782	738	895	835
尾長 (mm)	132	144	145	140
頭胴長 (mm)	650	594	750	695
後足長 (mm)	100	93	104	120

は、計測後の実験を含めて2日以内に放獣したが、全ての個体が再捕獲された。特に、No.1の個体は2週間の捕獲期間中に3回捕獲された。一方で、アナグマの再捕獲された個体はNo.2のみであった。

タヌキの当オメス (No.1) の体重は2.6 kg と、他の成獣2個体の6.0 kg, 5.1 kg と比較して小さく、全長も成獣と比較して7割程度と小さな値を示した

(図6)。岸本ら (1998) は、茨城県菅生沼周辺に生息するタヌキの体サイズを調査し、体重3.2~4.6 kg (n=4) と報告している。今回のFM多摩の成獣個体の2個体の体重は、これらの値を上回った。頭胴長についても、菅生沼が503~557 mm (n=4) であるのに対し、FM多摩は2個体とも650 mm と上回った。



図7. 体重が高い値を示したアナグマ (No. 3)

アナグマ成獣4個体の頭胴長は594~750 mmを示した。金子・丸山(2005)による東京都日の出町における2才以上の個体の頭胴長は、オスは平均648 mm, メスは平均588 mmであり, FM多摩の4個体も同程度の値を示した。しかしながら, FM多摩のアナグマの体重はオスが9.5 kg, メスが7.7 kg~12.9 kgと(表2), メスでは同時期の日の出町の非餌づけ個体と比較して高い値を示し, むしろ餌づけ度の高い個体と同程度の値を示していた。

FM多摩敷地内では中型食肉目対象の餌づけは行われておらず, ゴミの利用もできない。しかしながら今回の調査において, タヌキ, アナグマの両種ともに, FM多摩で捕獲された個体の体重は関東近郊の自然地域の個体の値を上回っており, タヌキでは頭胴長も大きな値を示した。日の出町では, タヌキの1個体あたりの平均行動圏面積は約50 ha(上野1991), アナグマでは約21 ha(金子2002)であるが, FM多摩の敷地面積は12.6 haと, 行動圏と比較して1/3~1/2ほどの大きさである。したがって, FM多摩のこれらの中型食肉目の生息地としての評価にあたっては, 行動圏に含まれるFM多摩敷地外の利用頻度や, 周辺地域における人工的な餌の供給の有無について, 今後調査が必要である。

4. 謝辞

本調査にご協力いただいた, 本学農学部付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原宏教授と小澤博幸氏にはこの場を借りて深謝申しあげる。また, 本捕獲調査は, 協和コンサルタンツ実施の「動物侵入抑制対策に関する検討-新規考案の動物侵入抑制対策工に関する動物実験の実施」業務に関連して行われた。協和コンサルタンツの諸藤聡子氏, 寶田桂一氏, 東京野生生物研究所の小堀陸氏には, 罠の設置から見回り, 捕獲にいたるまで, ご協力いただいた。厚く感謝の意を表する。

引用文献

- 浅野玄・塚田英晴・岸本真弓(2006)生態捕獲調査における計測, 採材, 器具装着および衛生上の諸注意. 哺乳類科学46: 111-131.
- 金子弥生(2002)日の出町のアナグマの行動圏の内部構造. 日本生態学会誌52: 243-252.
- 金子弥生・丸山直樹(2005)東京都市近郊におけるニホンアナグマ(*Meles meles anakuma*)の体重及び栄養状態への地域住民の餌づけの影響. 哺乳類科学45: 157-164
- 環境省(2005)マイクロチップによる動物の個体識別の概要. 56 pp, 東京.
- 岸本真弓・金子弥生(2005)食肉目調査にかかわる保定技術. 哺乳類科学45: 237-250.
- 岸本真弓・山崎晃司・栗栖宣博(1998)菅生沼周辺で学術捕獲されたタヌキとハクビシンの体計測および生理的所見. 茨城県自然博物館研究報告1: 97-103.
- Sinclair, A. R. E., Fryxell, J. M., Caughley, G. (2006) *Wildlife Ecology, Conservation, and Management.* (2nd edition) Blackwell Publishing, 469 pp, USA.
- 上野康史(1991)東京都日の出町におけるホンダヌキ(*Nyctereutes procyonoides viverrinus*)の行動圏と環境選択. 東京農工大学卒業論文74 pp.

研究資料

FM 多摩丘陵におけるハイパースペクトル画像解析による
樹種特定手法の開発五味 高志^{*1*3}・安藤 史識^{*2}・藤森 雄大^{*2}・高良 洋平^{*2}・野呂 直樹^{*2}Development for the identification of tree species using hyperspectral
image analysis in FM TamakyuroTakashi GOMI^{*1*3}, Fumisato ANDO^{*2}, Futa FUJIMORI^{*2}, Youhei TAKARA^{*2} and Naoiki NORO^{*2}

We developed the methods for indentation of tree species using hyperspectral image analysis from 50 m tower location FM Tama-kyuryo. Based on the spectral image analysis, grass, oak and Japanese cedar had greater reflectance at 550 nm and 750 nm ranges of spectral. We applied cosine distance analysis for the classification of image and identified the specific tree species. Based on the analysis, we identified the species and their canopy structure. We could even identify individual leaves on the tree canopy. Our methods using hyperspectral image analysis can be applied for indentifying various scales from individual leaves to tree communities in forested landscapes.

Key words : hyperspectral data, remote sensing, image analysis, tree species identification

東京農工大学 FM 多摩丘陵において、ハイパースペクトル画像解析により、針葉樹と広葉樹の混在する森林区画における、樹種特定の検討を目的とし、50 m タワーからの撮影によるリモートセンシングを用いて樹種分類の手法について検証した。イネ科草本、コナラ、スギの反射強度が強く、特に550 nm 付近の可視光（緑）領域と、750 nm 付近の近赤外領域でスペクトル強度の違いを確認することができた。これらの特徴波長域を用いてコサイン距離による画像解析を行った結果、樹種判別に加えコナラやクリでは樹冠形状の判読が可能であった。さらに、樹冠上の反射条件によっては、個葉レベルの判読も可能であることがわかった。今後、様々なスケール（個葉から群落まで）を対象とした森林分野の調査研究へのハイパースペクトル画像の活用が可能であると考えられた。

キーワード：ハイパースペクトルデータ、リモートセンシング、画像解析、樹種判別

1. はじめに

リモートセンシングとは、対象物の性質を直接対象物に触れることなく調べる技術のことである。これまでにも人工衛星からのリモートセンシングを用いて、土地利用・被覆に関する情報抽出が行われてきた。衛星搭載センサの分光反射特性は、一般に数

十から数千ナノメートル（nm）の波長幅をもったマルチスペクトル（Multi-spectral）である。マルチスペクトルセンサは地表情報と離散的な分光情報（4～8 band）の取得が可能であり、対象物の分類について観測することができる。これまでにも、マルチバンドデータを用いて、森林における樹種特定について検討されてきた。従来の研究では、針葉

*1 東京農工大学農学府国際環境農学専攻 〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8 : Department of International Environmental and Agriculture Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho Fuchu-shi, Tokyo, 183-8509, Japan

*2 エバ・ジャパン株式会社 〒108-0074 東京都港区高輪2-17-12 : EBA Japan Co., Ltd. 2-17-12, Takanawa, Minato-ku, Tokyo, 108-0074, Japan

*3 Corresponding author : gomit@cc.tuat.ac.jp

樹や広葉樹、もしくは針葉樹におけるマツ類やモミ類の分類についての可能性が示されてきた(加藤・飯坂, 2007)。しかし、従来の手法では、航空機や衛星リモートセンシングにおける樹種の特定には、スペクトルの分解能や地上分解能が不十分であった(Lillesand *et al.*, 2004)。

それに対して、バンド幅を10 nm ピッチレベルで観測できるハイパースペクトル(Hyper spectral)リモートセンシングカメラが開発され、医療や製品管理など様々な分野に応用され始めている。ハイパースペクトルセンサーのバンド数は200前後になり、連続的な分光情報と地表情報を取得し、高精度のスペクトル情報収集が可能である。その結果、これまでの地表地物を分類したリモートセンシングでは捉えられなかった観測対象の物性値の取得が可能であり、識別までの情報解析精度が得られる可能性がでてきた(Aspinall *et al.*, 2002; 鈴木, 2007)。

このようなハイパースペクトル技術は、分光器と画像を組み合わせたデータを扱う技術であり、画像の各ピクセルで成分分析されたデータを2次元画像として視覚的に表現することができる。ハイパースペクトルとして撮影されたデータはx軸, y軸の他に、波長方向(λ 軸)の3次元データとなる。このデータをハイパースペクトルデータ(HSD)と呼ぶ。ハイパースペクトルデータのもっとも簡単な使い方としては、撮影したスペクトル画像から3枚のスペクトルを抽出し、それぞれを可視光領域の赤, 緑, 青(RGB)に対応させることにより、対象物を見やすくすることができる。またスペクトル情報から得られる特性指数(たとえば正規化植生指数NDVI等)に対応させ、その強度を色に対応づけると、特性変化や分布を視覚的に表現することが可能となる(Shen *et al.*, 2010)。

ハイパースペクトルデータによるリモートセンシングによって、マルチスペクトルでは観測できなかった、植物ストレスの指標であるレッドエッジ(Red-Edge: 680~780 nmの反射の急激な変化)などを感知することが可能となることが示されている。森林分野への応用では、これまでも針葉樹もしくは広葉樹などの特定の樹種の樹冠構造の評価(白石ら, 2006; Cho *et al.*, 2009; Shen *et al.*, 2010)や樹種判読(加藤・飯坂, 2007; 佐藤ら, 2006)が行われてきた。しかし、農業分野では応用が進んでいるものの(安田, 2007)、針葉樹や広葉樹が混在する林分での樹種特定や個別の葉の特徴判別といっ

た応用分析などは検討されてこなかった。そこで、本研究では、このようなハイパースペクトルカメラの利点を活用し、これまでのリモートセンシング技術では十分に判読することができなかった、樹木の樹種特定および個葉の判別の可能性を検討することを目的とし、リモートセンシングによる樹種分類の手法について検証した。

2. 調査地と研究方法

調査は、東京農工大学フィールドミュージアム(FM)多摩丘陵にて行った。ハイパースペクトルカメラ(HSC 1701)(佐鳥ら, 2005で紹介されている機材と同等のもの)を用いて、FM多摩丘陵の標高170 m地点に位置する地上50 mの観測タワーから撮影を行った。HSC 1701ハイパースペクトルカメラは、波長域350 nm~1050 nmまでを5 nmで分光した撮影サイズ640×480 pixelのデータ(HSD)を取得することができる。得られるバンド数は141バンドである。カメラ本体をノートパソコンに接続することによって、カメラを三脚によって静止させた状態に保持し、データを取得した。

本研究では、樹種特定を行うことを目的としていることから、観測タワー最上部から一回の撮影で多くの樹種を観測できる範囲で、かつ落葉広葉樹、常緑広葉樹、針葉樹が混在している場所(タワーから南側)を選び撮影を行った。判別の対象となる斜面には、クリ(*Castanea crenata*), 枯れたクリ, コナラ(*Quercus serrata*), カキ(*Diospyros kaki* Thunb.), スギ(*Cryptomeria japonica*)人工林, イネ科草本(*Poaceae* spp.)が分布していた。撮影は、2010年11月9日の午前11時~12時の間に行った。撮影時の天候は晴天であった。撮影時には一部落葉の始まっている樹種も見られるものの、落葉広葉樹の紅葉は見られないことから、落葉広葉樹の判別も可能であると判断した。

3. 解析方法

ハイパースペクトルデータにおける1ピクセルのスペクトル情報は、ハイパースペクトルカメラ(HSC 1701)の波長分解能を n バンドとすると、 n 次元のベクトルで表現できる。 n 次元ベクトルにおけるHSDでの1ピクセルのスペクトル情報 \vec{HS} を模式的に示すと図のようになる。なお、基準ベクトル $\vec{\lambda}$ においては、各スペクトル成分のすべてが直交しているものとする。 n 次元ベクトル情報 \vec{HS} の定義

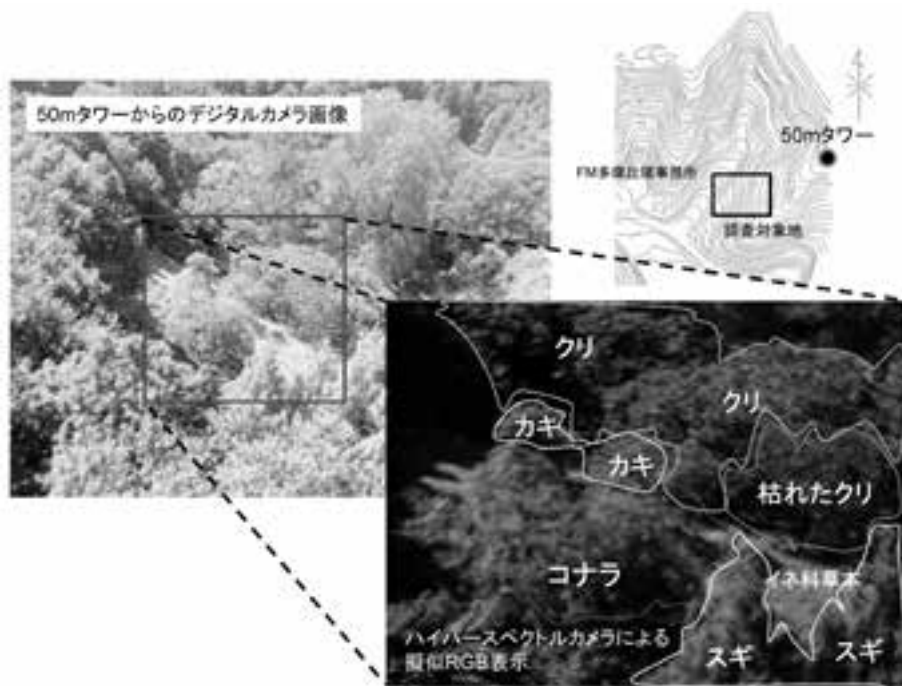


図1 調査地位置図

について、 n 番目のベクトルの相対反射率 R_n とベクトル成分 $\vec{\lambda}_n$ で表すと式 [1] のようになる。

$$\vec{HS} = R_1 \vec{\lambda}_1 + R_2 \vec{\lambda}_2 + R_3 \vec{\lambda}_3 + \dots + R_n \vec{\lambda}_n \quad [1]$$

式[1]の定義を用いると、 $|\vec{HS}|$ は式[2]のように変形でき、

$$|\vec{HS}| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i^2)} \quad [2]$$

\vec{HS} の基準ベクトル \vec{e}_{HS} は式[3]となる。

$$\vec{e}_{HS} = \frac{\vec{HS}}{|\vec{HS}|} \quad [3]$$

ここで、任意のスペクトルと \vec{HS}_1 および \vec{HS}_2 があり、2つのベクトルの角度の差である $\cos \theta$ は、それぞれの基準ベクトル \vec{e}_{HS_1} および \vec{e}_{HS_2} の内積を式[4]として計算することができる (図2)。

$$\cos \theta = \vec{e}_{HS_1} \cdot \vec{e}_{HS_2} \quad [4]$$

$\cos \theta$ が1に近いほど相対反射スペクトルが近似していることが言える。基準ベクトルとして特定の対象物 (ここでは、分類対象となる樹木) の反射スペクトル \vec{e}_{HS_1} をとり、それ以外の対象物の反射スペクトルを比較ベクトル \vec{e}_{HS_2} として解析を行った。

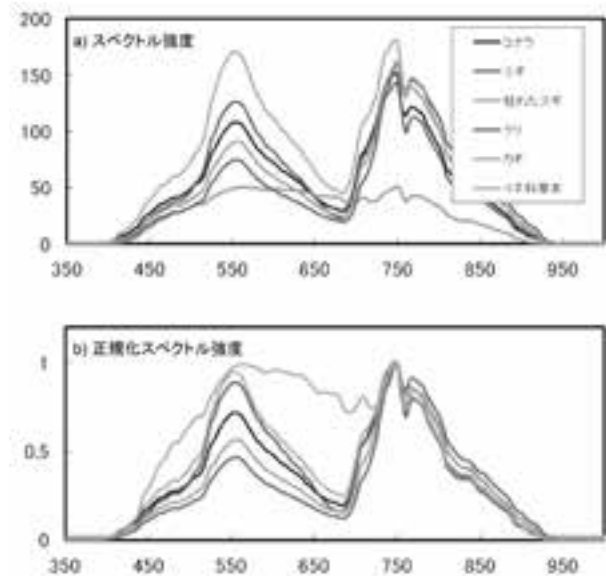


図2 a) 各樹種のスペクトル強度と
b) 正規化スペクトル強度

4. 結果と考察

4.1 スペクトルグラフ

比較対象となるサンプルからスペクトルデータを取得し、加工せずにスペクトル強度グラフを作成すると図3が得られた。樹種ごとに、スペクトル強度の違いを確認することができた。特に、イネ科草本、コナラ、スギの反射強度が強く、550 nm 付近の可視光 (緑) 領域と、750 nm 付近の近赤外領域で強度の反射がみられた。クリの反射強度は相対的に小さく、特に枯れたクリでは、すべての領域にお

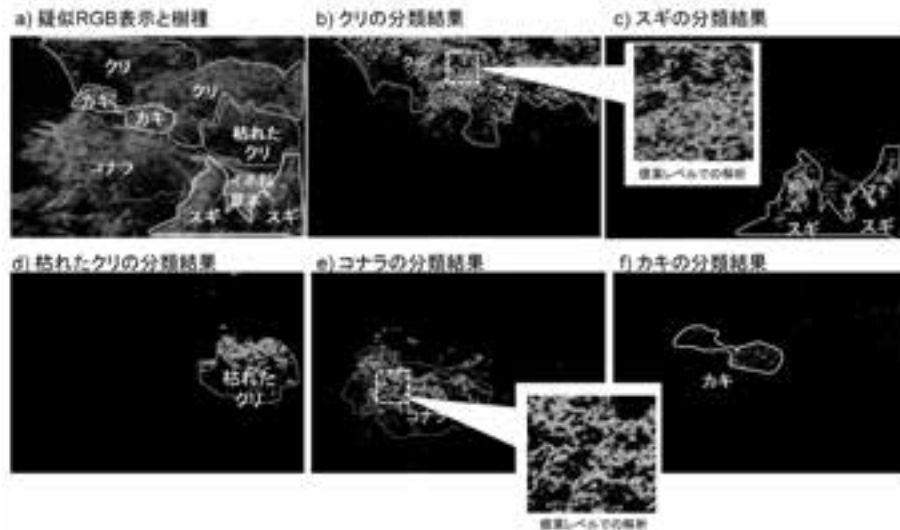


図3 コサイン距離による分類結果：a) 疑似RGB表示と樹種，b) クリの分類結果，c) スギの分類結果，d) 枯れたクワの分類結果，e) コナラの分類結果，f) カキの分類結果

ける反射は見られなかった。枯れた樹木では、葉緑素がないことから、緑域および近赤外領域で反射が起こらないと考えられた。

スペクトル強度グラフの最大値を1.0として正規化して得られる情報を最大値正規化スペクトル強度グラフと呼び、図2に示した。比較対象間のスペクトルのスケールを揃えることにより、対象物によって変化する波長帯を見つけ出すことができる利点がある。各樹種ともに440 nm～800 nmの波長帯でスペクトル強度が大きくなる傾向があり、400～700 nmの波長帯において樹種ごとの違いがみられた。最大値正規化後においても、550 nmの可視光領域でイネ科草本、コナラ、スギの反射強度が強い傾向がみられた。

4.2 樹種分類

ハイパースペクトルデータをベクトルの概念に置き換え、350 nm～1050 nm 波長間の基準スペクトル強度と比較スペクトル強度とのコサイン距離を算出し画像化を行った。コサイン距離によって算出される値は、0～1の値で表わされ、1に近いほど基準スペクトル（各樹木）と同等のスペクトルを持ち合わせていると言える。コサイン距離を画像化するために、対象樹種毎に閾値を設定し20段階にて色付けを行った。本解析では、スペクトル強度データを用いて解析を行った。

解析結果を図3に示した。概ね、どの樹種においても、判別結果と実際の樹幹の分布は一致しており、特に、クワ、コナラ、枯れたクワでは、樹種の

特定とともに、樹冠の形状を判別することが可能であった。一方、スギやカキは、樹木が存在する箇所を特定することは可能であるものの、樹冠の形状の判別までは難しかった。これらの樹種は反射強度（日照条件）によって適正な閾値設定が変わるため、これらの樹種の反射特性や撮影条件などが影響していることが考えられた。

これらの結果から、ハイパースペクトルカメラによる樹木の樹種判別は可能であることが認められた。樹種判別を行うための方法として、スペクトル強度グラフの最大値を1に規格化した最大値正規化グラフが樹種判別に有効であると考えられた。また、画像解析においてはコサイン距離解析を用いることが可能であった。しかし、季節変化や天候による樹木のスペクトルの変化や、場所や樹齢などの生育状況の異なる樹木のスペクトル変化については今後の検討課題であることから、継続的な観測が必要であると思われた。ハイパースペクト画像の森林分野への応用では、さらに判読精度をあげ、樹冠や個葉レベルでの解析を進めるとともに、各樹木のスペクトルデータを取得し、樹木ごとのスペクトルデータのデータベース化を進めることによって、国内におけるハイパースペクトル画像の環境分野への応用を発展させることができると考えられた。

謝辞

本研究を行うために、FM多摩丘陵の原宏教授には、現地観測や50 mタワーの利用について便宜を

図っていただき、本原稿の執筆を温かく見守っていただいた。ここで、御礼を申し上げます。

引用文献

- Aspinall, R.J., Marcus, W.A., Boardman, J.W. (2002) Consideration in collecting, processing, and analyzing high spatial resolution, hyperspectral data for environmental investigations. *Journal of Geographical systems* 4: 15-29.
- Cho, M., Skidmore, A.K., Spbhan, I. (2009) Mapping beech (*Fagus sylvatica* L.) forest structure with airborne hyperspectral imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 11: 201-211.
- 加藤正人・飯坂譲二 (2007) 航空機ハイパースペクトルによる針葉樹区分. 写真測量とリモートセンシング46: 19-24
- Lillesand, T. M., Kiefer, R.W., Hipman, J.W. (2004) *Remote sensing and image interpretation* (fifth edition). Wiley N.Y.
- 佐鳥新・三浦理恵・上野宗一郎 (2005) 北海道衛生プロジェクトとハイパースペクトルリモートセンシングの展望. 写真測量とリモートセンシング44: 91-95.
- 佐藤浩・宮坂聡・牧田肇・八木浩司・小荒井衛 (2006) 白山山地・泊の平地区における航空ハイパースペクトルセンサデータを用いた植生マッピング. 写真測量とリモートセンシング45: 32-45.
- Shen, G., Sakai, K., Hoshino, Y. (2010) High spatial resolution hyperspectral mapping for forest ecosystem at tree species level. *Agriculture Information Research* 19 (3): 71-78.
- 白石貴子・後藤真太郎・渡邊定元・崎尾均 (2006) ハイパースペクトル画像に含まれる樹冠下の構造特性の評価—立正大学ソメイヨシノ並木の事例—. 写真測量とリモートセンシング45: 4-12.
- 鈴木孝雄 (2007) ハイパースペクトルセンサーの原理. 写真測量とリモートセンシング46: 7-9.
- 安田嘉純 (2007) ハイパースペクトルによる植生情報. 写真測量とリモートセンシング46: 14-18.

研究資料

FM 多摩丘陵 JaLTER プロットにおける土壌特性の空間変動

木村園子^{*1}・岸本(莫)文紅^{*2}・大浦 典子^{*2}・関川 清広^{*3}・米村正一郎^{*2}・
須藤 重人^{*2}・早川 敦^{*4}・南川 和則^{*2}・高田 裕介^{*2}・原 宏^{*1}

Spatial variability of soil properties within the JaLTER plot, FM Tamakyuryo

Sonoko D. KIMURA^{*1}, Fumika (Mo) KISHIMOTO^{*2}, Noriko OURA^{*2}, Seikou SEKIKAWA^{*3},
Syoichiro YONEMURA^{*2}, Shigeto SUDO^{*2}, Atsushi HAYAKAWA^{*4},
Kazunori MINAMIKAWA^{*2}, Yusuke TAKADA^{*2} and Hiroshi HARA^{*1}

To investigate the spatial variability of soil characteristics and greenhouse gases, intensive monitoring was conducted at rolling hill region, FM Tamakyuryo. The FM Tamakyuryo is located in Hachioji, Tokyo and is known to receive high nitrogen (N) deposition. The vegetation is a secondary deciduous forest dominated by oak and coniferous trees with Japanese cedar and cypress. The FM Tamakyuryo is surrounded by urban area and is known to have high N deposition. The N deposition from May 2006 to December 2006 was 19.7 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ as open bulk deposition outside the forest and 50.6 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ inside the cedar forest.

The complex topology of the sampling area was categorized into five categories; valley (V), north slope coniferous trees (NC), north slope deciduous trees (ND), south slope deciduous trees (S) and hill top (T). The gas flux was measured at 100 point, within a 100 x 100 m plot divided in 10 grids on July 25th and December 5th 2008. The elevation in the plot ranges from 144–180 m. The plot ID is 1–10 from north to the south and A–J from west to east. Fifty eight grids was covered 100% by secondary deciduous forest and 16 grids were covered more than 50% by coniferous trees. The measurement was conducted using the closed chamber technique and all the measurement was conducted between 13:00–15:00. The investigated greenhouse gases were carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) fluxes from forest soil with high N deposition. Soil samples were taken at the same time as each gas sampling.

The soil characteristics showed high spatial variability, which could be categorized by topological characteristics. The emissions of CO₂ and N₂O and the uptake of CH₄ were higher in July than in December. The CO₂ flux showed no topological difference in July but significant lower value in NC than other categories in December. Though high N deposition, uptake of CH₄ was found. The spatial dependency of CH₄ fluxes was stronger than that of CO₂ and N₂O and showed significantly higher uptake in T and lower uptake and even emissions in V at both dates. The N₂O fluxes showed no spatial dependency illustrating high hot spots for V in July and S and T in December. The high N deposition has led to high N₂O flux values and emphasized the spatial variability.

Key words : nitrous oxide, carbon dioxide, methane, spatial variability, soil characteristics, rolling hills

本研究では、丘陵地帯における地形および植生が、土壌特性および温室効果ガスフラックスに及ぼす影響について調査を行った。対象とする温室効果ガスは、二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄) および亜酸化窒素

*1 東京農工大学農学研究院

*2 農業環境技術研究所

*3 玉川大学・農学部

*4 秋田県立大学・生物資源学科

(N_2O) とした。

対象地は東京農工大フィールドミュージアム (FM) 多摩丘陵で、敷地内ではコナラを中心とする広葉樹の二次林、スギとヒノキを中心とする人工林が広がる。FM 多摩丘陵内の10 m グリッドに区切った JaLTER プロット (100 m×100 m) において、2008年7月25日および2008年12月5日にグリッドの中心、合計100箇所において測定を行った。測定はクロズドチャンバー法を用い、10箇所同時に測定することによって両日ともに13時~15時の2時間以内に行った。ガスフラックスの測定と同時に、各測定地点の周辺の土壌の採取を行った。

対象区内で、土壌特性は大きく変動したが、地形カテゴリーによって分類できる可能性を示した。 CO_2 、 CH_4 および N_2O のガスフラックスは、どのガスも7月の方が12月より大きい値であった。 CO_2 および CH_4 は、両時期のフラックスはそれぞれ高い正の相関を示した。 N_2O フラックスに関しては、ホットスポット的な場所が存在したが、この場所は、夏季(7月)と落葉期(12月)で必ずしも一致しなかった。

キーワード：亜酸化窒素, 二酸化炭素, メタン, 空間変動, 土壌特性, 丘陵地帯

1. はじめに

丘陵地帯は複雑な地形を有し、狭い地域内で異なる土壌タイプが発達する。頂部斜面および頂部平坦面では火山灰などの被覆により土壌が形成されやすいが、侵食されやすいため一般に土壌層は薄い。谷壁斜面では地表の物質移動が活発で、その下にある谷頭凹地あるいは谷底面に崩積する。谷底面は水が集まりやすく、嫌気的な条件下で土壌生成が進む。日本の代表的な丘陵地帯である多摩丘陵では頂部斜面から谷壁斜面では黒ボク土や淡色黒ボク土が見られるが、谷底面では、多湿黒ボク土、灰色低地土やグライ土がみられる(岡崎 1997)。そのため、丘陵地の森林では局所的に大きく異なる土壌環境条件が生じ、林内の物質循環に大きく影響していると予想される。温室効果ガスの中でも特に亜酸化窒素(N_2O)は空間的に変動が大きく、林内でも大きな空間変動がみられると報告されている。斜面の下部は上部より N_2O 放出量が大きいという報告例が多く、それは水分の集積により脱窒作用による N_2O ガスの放出量が卓越するためと考察されている(Nishina *et al.* 2009)。一方、斜面上部では乾燥により硝化作用による N_2O ガスの放出量が卓越し、気象条件によっては地形の影響は明確に見られないという報告例も存在する(Florinsky *et al.* 2004)。本研究では、地形、土壌タイプおよび植生が丘陵地帯内でどのような空間変動で存在しているかを調査した。物質循環の中でも特に温室効果ガスの空間変動に着目し、土壌特性の空間変動が温室効果ガスフラックスに及ぼす影響について調査を行った。対象とする温室効果ガスは、二酸化炭素(CO_2)、メタン(CH_4)および

亜酸化窒素(N_2O)であり、測定は、最繁茂期である夏季(7月)と落葉期である冬季(12月)について行った。

2. 試料と方法

本研究対象地は東京農工大フィールドミュージアム (FM) 多摩丘陵で、東京都八王子市に位置し、JaLTERの準(コア)サイトに登録されている(図1)。敷地内ではコナラ(*Quercus serrata*)を中心とする広葉樹二次林、スギ(*Cryptomeria japonica*)とヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)を中心とする人工林が広がる。FM 多摩丘陵は住宅地に囲まれ、窒素沈着量が多いことで知られている(Kimura *et al.* 2009)。2006年5月-2006年12月における林外雨の窒素沈着量は $19.7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 、スギ林内における林内雨の窒素沈着量は $50.6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ であった。

FM 多摩丘陵内の10 m グリッドに区切った

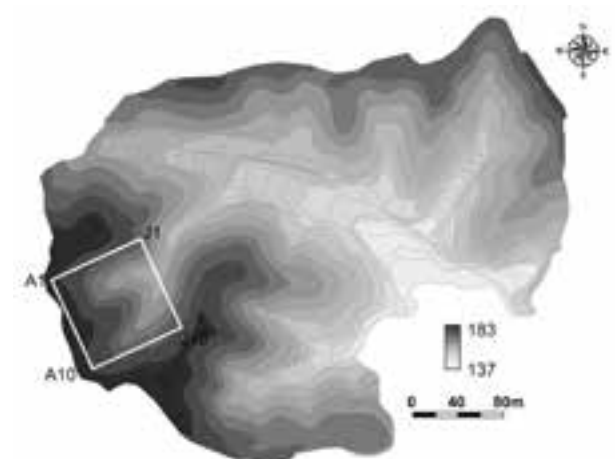


Fig. 1 Location of JaLTER Plot in the FM Tamakyuryo. Number A-J and 1-10 are the number of the plot.

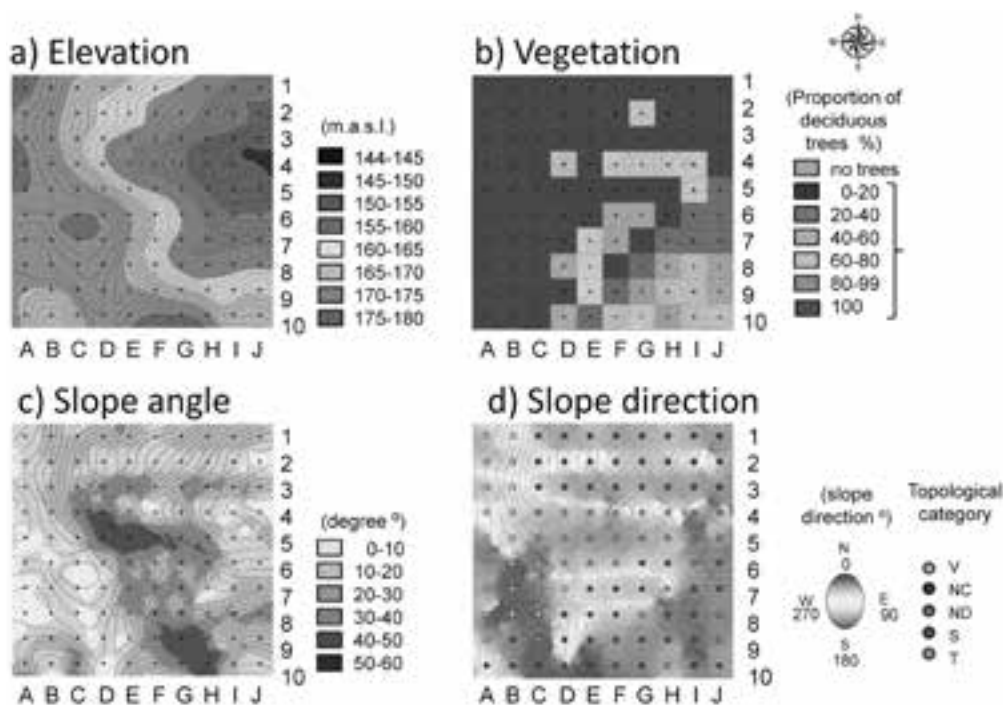


Fig. 2 General characteristics of the JaLTER plot ; a) elevation, b) vegetation distribution, c) slope angle and d) slope direction and sub-plot category.

Topological categories of the sub-plot are as follows ; V : valley, NC : North slope coniferous trees, ND : North slope deciduous trees, S : South slope, T : Top of the hill. Number A-J and 1-10 are the number of the plot.

JaLTER プロット (100 m×100 m) において行った。JaLTER プロット内の標高差は144-180 m, 二股に分かれた谷を挟んだ複雑な地形である (図 2 a)。区画の ID は北から南に 1~10, 西から東に A~J に分けた100区画である。植生は広葉樹が100%を占める区画が58区, 針葉樹が50%以上を占める区画が16区存在した (図 2 b)。傾斜角は JaLTER プロット中央部 (区画番号 D 5~H 5 付近) および, 南東部 (区画番号 G 8~H 10 付近) に50~60°と急な角度を示した (図 2 c)。最も平坦な区画は A 7~8 付近であった。傾斜方向は, 主に北向きと南向きの斜面に着目して示した (図 2 d)。JaLTER プロット内の北部 (区画番号 1~3 行付近) および南西部 (区画番号 A 5~D 10 付近) は南向きを示したのに対し, 中央部 (区画番号 4~6 行付近) および南東部 (区画番号 E 10~J 7 付近) は北向きであった。詳細な地形および植生データは表 1 に示した。

地形および植生情報を基に, 調査区画を下記のように5つのカテゴリーに分類した。1) 谷(V): 標高160 m 以下で, 傾斜角12°以内の区画, 2) 頂端(T); 標高170 m 以上で, 傾斜角20°以上の区画, 3) 北向き針葉樹(NC): 針葉樹割合が35%以上で, 傾斜方向が90°より小さいまたは270°より大きく, 谷

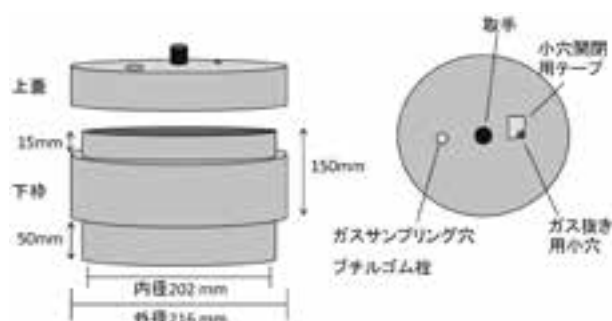


Fig. 3 Chamber used in this study.

部や頂端部に含まれなかった区画, 4) 北向き落葉樹(ND): 針葉樹割合が35%以下で, 傾斜方向が90°より小さいまたは270°より大きく, 谷部や頂端部に含まれなかった区画, 5) 南向き斜面(S): 傾斜方向が90°以上270°以内で, 谷部や頂端部に含まれなかった区画。V, NC, ND, S および T の5つのカテゴリーにはそれぞれ11, 14, 14, 39および22区画が含まれた。

土壌表面からの温室効果ガスフラックスの測定には, クローズドチャンバー法を用いた。測定は, 土壌に密着させたチャンバーの下柁に, 上蓋をかぶせることによって土壌表面から発生するガスをとらえて行った (図 3)。チャンバーは, 2008年7月18日

Table 1 Topological characteristics of point A 1-J 10 within the JaLTER site.

ID	地形分類	標高平均 (m)	傾斜方向 (°)	傾斜角 (°)	広葉樹数 (本)	針葉樹数 (本)	広葉樹割合 (%)	針葉樹割合 (%)
A 1	T	175	217	10	12	0	100	0
A 2	T	174	214	12	13	0	100	0
A 3	T	174	151	15	11	0	100	0
A 4	T	175	175	12	14	0	100	0
A 5	T	175	230	6	10	0	100	0
A 6	T	174	274	11	9	0	100	0
A 7	T	172	252	8	10	0	100	0
A 8	T	171	281	1	12	0	100	0
A 9	T	170	242	12	2	0	100	0
A 10	S	169	183	24	2	0	100	0
B 1	T	173	190	22	7	0	100	0
B 2	T	172	202	22	8	0	100	0
B 3	T	171	166	22	5	0	100	0
B 4	T	172	159	20	11	0	100	0
B 5	T	174	153	12	11	0	100	0
B 6	T	174	261	5	8	0	100	0
B 7	T	173	326	18	8	0	100	0
B 8	T	172	334	8	2	0	100	0
B 9	S	170	279	21	4	0	100	0
B 10	S	167	265	13	1	0	100	0
C 1	S	169	217	21	10	0	100	0
C 2	S	168	188	22	10	0	100	0
C 3	S	167	191	28	5	0	100	0
C 4	ND	168	146	34	1	0	100	0
C 5	ND	172	115	23	5	0	100	0
C 6	T	175	81	10	14	0	100	0
C 7	T	175	287	9	14	0	100	0
C 8	T	173	307	9	7	0	100	0
C 9	T	172	324	20	1	0	100	0
C 10	S	169	332	31	2	0	100	0
D 1	S	166	243	26	7	0	100	0
D 2	S	164	183	14	5	0	100	0
D 3	S	162	225	32	9	0	100	0
D 4	ND	162	146	40	0	0	—	—
D 5	ND	168	125	44	4	0	100	0
D 6	ND	174	136	20	15	0	100	0
D 7	T	174	212	12	13	0	100	0
D 8	S	173	211	14	9	1	90	10
D 9	S	172	185	12	4	0	100	0
D 10	S	172	260	4	2	4	33	67
E 1	S	164	228	27	18	0	100	0
E 2	S	162	191	16	17	0	100	0
E 3	S	158	245	34	14	0	100	0
E 4	V	157	145	27	1	0	100	0
E 5	ND	163	119	48	7	0	100	0
E 6	ND	169	148	33	8	0	100	0
E 7	S	170	197	34	10	4	71	29
E 8	S	169	175	28	9	3	75	25
E 9	S	171	106	15	4	2	67	33
E 10	NC	173	35	23	3	12	20	80

Table 1 Topological characteristics of point A 1-J 10 within the JaLTER site. (continue)

ID	地形分類	標高平均 (m)	傾斜方向 (°)	傾斜角 (°)	広葉樹数 (本)	針葉樹数 (本)	広葉樹割合 (%)	針葉樹割合 (%)
F 1	S	161	245	19	13	0	100	0
F 2	S	159	208	16	7	0	100	0
F 3	S	156	247	27	7	0	100	0
F 4	V	154	143	10	0	0	—	—
F 5	ND	159	111	41	7	0	100	0
F 6	ND	164	151	28	15	1	94	6
F 7	S	164	206	32	8	1	89	11
F 8	S	164	153	31	2	0	100	0
F 9	NC	169	115	37	0	9	0	100
F 10	NC	175	88	27	10	14	42	58
G 1	S	159	239	23	12	0	100	0
G 2	S	157	222	18	0	0	—	—
G 3	S	153	233	30	6	0	100	0
G 4	V	151	171	23	0	0	—	—
G 5	ND	155	127	39	7	0	100	0
G 6	S	159	158	31	9	2	82	18
G 7	S	159	210	32	16	0	100	0
G 8	V	159	136	31	0	7	0	100
G 9	NC	166	105	45	5	11	31	69
G 10	NC	174	95	39	11	6	65	35
H 1	S	157	223	27	23	0	100	0
H 2	S	154	213	19	27	0	100	0
H 3	S	150	247	30	13	0	100	0
H 4	V	148	178	14	0	0	—	—
H 5	ND	150	139	32	9	0	100	0
H 6	S	154	153	34	4	0	100	0
H 7	V	155	190	15	0	4	0	100
H 8	NC	157	83	28	3	9	25	75
H 9	NC	163	108	37	8	10	44	56
H 10	ND	171	133	46	10	2	83	17
I 1	S	154	240	25	16	0	100	0
I 2	S	151	199	15	22	0	100	0
I 3	S	148	247	29	3	0	100	0
I 4	V	146	120	8	0	0	—	—
I 5	V	148	76	12	0	0	—	—
I 6	V	150	103	18	0	6	0	100
I 7	NC	154	88	20	1	12	8	92
I 8	NC	158	74	30	8	9	47	53
I 9	NC	163	64	26	6	8	43	57
I 10	NC	168	78	23	7	8	47	53
J 1	S	152	259	20	14	0	100	0
J 2	S	150	223	7	5	0	100	0
J 3	S	147	263	23	4	0	100	0
J 4	V	145	123	10	1	0	100	0
J 5	V	148	109	18	1	8	11	89
J 6	NC	150	85	14	1	12	8	92
J 7	NC	154	93	24	1	12	8	92
J 8	ND	159	93	31	10	1	91	9
J 9	ND	164	98	25	11	1	92	8
J 10	NC	168	92	14	3	2	60	40

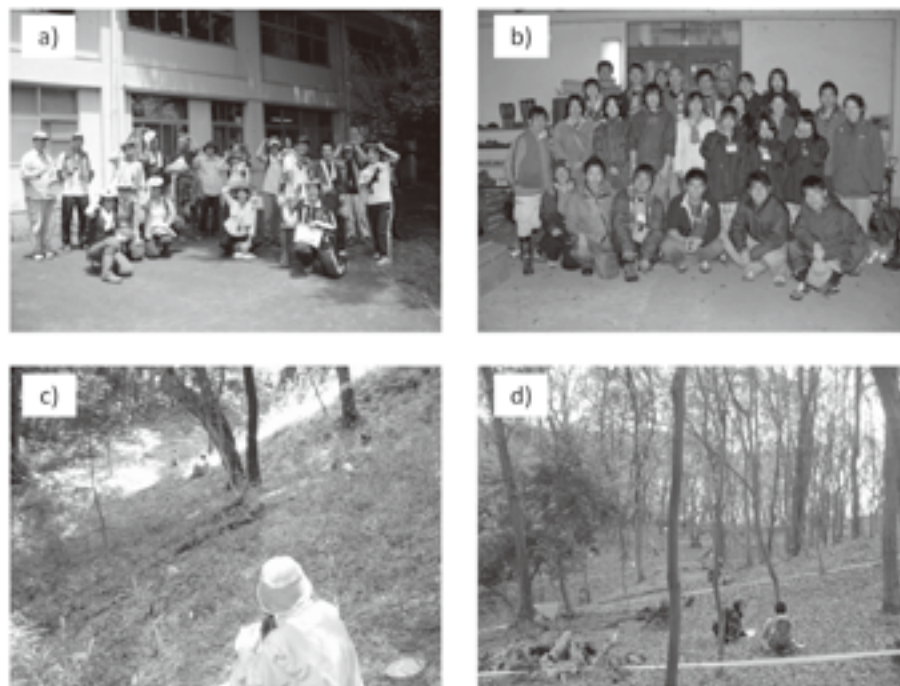


Fig. 4 Sampling members in (a) July and (b) December, and the measurement scene in (c) July and (d) December

に各グリットの中心に設置した。フラックスの測定を2008年7月25日および2008年12月5日に行った(図4)。両日ともに10箇所同時に測定することによって13時~15時の2時間以内に行った。上蓋を閉めてから0, 7, 14および21分後の4回, 閉鎖したチャンバー内からシリンジによってガスを採取し, 真空にした15 mlのバイアル瓶に30 ml挿入した。採取後, ガス濃度は, 農業環境技術研究所内における温室効果ガス3成分自動同時分析装置(農業環境技術研究所, 特願2005-96918号)を用い, 3成分(CO_2 , CH_4 および N_2O)を測定した。ガスフラックスの測定と同時に, 各測定地点の周辺の土壌の採取を行い, 0-12cmの平均含水比, 5 cm深度の地温, pH, および全炭素, 全窒素含有率を測定した。また, 12月のサンプリング後には, チャンバー内のリターを採取し, 地表面積あたりのリター量を測定した。

3. 結果と考察

土壌pHは酸性で, 最も低い区画では3.6(区画J1)を示し, 最も高い地点では6.0(区画I5)を示した(表2)。最も高い土壌炭素含有率は, A3区画の $127 \text{ mg C g DW}^{-1}$ で, もっとも低い値は, F3区画の $25 \text{ mg C g DW}^{-1}$ であった。行内では, 1行目が高い傾向を示したのに対し, 6および8行目が低い傾向を示した。列内で最も差が大きかったの

は, F列で, 最も高い地点と低い地点の差が92であった。土壌窒素含有率も炭素含有率と同様, A3で $8.5 \text{ mg N g DW}^{-1}$ と最も高く, F3で $1.8 \text{ mg N g DW}^{-1}$ と最も低い値を示した。CN比は大きなばらつきは認められず, 12.5~18.6と比較的狭い幅で存在した。土壌炭素含有率が $50 \text{ mg C g DW}^{-1}$ 以下の区画は, Sにおいて多くみられた。一方, 土壌炭素含有率が $50 \text{ mg C g DW}^{-1}$ 以上の区画は, Tで多く認められ, 地形カテゴリーによって区分されることが示された。CN比はNDで高い傾向にあった。リター層は9~10行で低く, 1~2行で高い傾向が認められた。最も高い値はE9区画の 103 g m^{-2} , 最も高い値は, E1区画の 2403 g m^{-2} であった。各区画における含水率は測定を行った7月および12月で高い正の相関($r=0.88$, $p<0.001$)を示し, 7月に比べ, 12月が低い傾向を示した。両時期共に含水率において低い値を示した区画は, TおよびSで, 高い値を示した区画はV(特にD4~H4)であった。土壌5 cmにおける地温は, 7月と12月で明確な関係は認められず($P>0.05$), 7月に 25.5°C 以上の高い値を示した区画(F4, G4およびI5)が12月には 10°C 以下の最も低い区分に分類された。12月に 11.5°C 以上の高い値を示した区画はSが8区画, Tが1区画であった。

7月の CO_2 フラックスは, 7月は $43\sim 224 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 12月は $14\sim 81 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ の範囲で存在

Table 2 Soil characteristics in July and December

ID	地形分類	pH	土壌炭素	土壌窒素	土壌 CN比	リター層 (gm^{-2})	含水率 (%)		5 cm の地温 ($^{\circ}\text{C}$)	
			含有率 (mgC gDW^{-1})	含有率 (mgN gDW^{-1})			July	Dec.	July	Dec.
A 1	T	4.5	118.0	7.6	15.6	1216.9	10.0	9.3	11.5	23.8
A 2	T	5.4	108.3	7.8	14.0	1478.4	12.6	21.5	11.1	24.4
A 3	T	5.1	127.2	8.5	14.9	850.0	8.3	13.5	10.9	24.6
A 4	T	4.5	77.5	5.1	15.1	1709.7	8.0	11.5	11.3	24.1
A 5	T	4.8	76.4	5.0	15.1	2203.0	11.3	10.7	10.6	24.1
A 6	T	5.3	113.2	8.2	13.8	1553.3	10.0	21.6	10.4	24.9
A 7	T	5.0	111.1	8.1	13.7	1334.0	9.4	14.2	10.8	24.8
A 8	T	4.8	106.1	7.7	13.8	1617.9	10.7	12.2	10.6	23.7
A 9	T	5.1	85.9	6.9	12.5	374.1	12.1	15.7	10.7	24.8
A 10	S	5.1	85.9	6.7	12.8	816.9	14.1	20.0	9.7	23.9
B 1	T	4.7	68.9	4.5	15.3	1152.7	11.4	17.0	11.0	24.7
B 2	T	5.1	91.9	6.6	13.8	1266.6	19.1	17.7	10.6	24.6
B 3	T	4.9	82.6	5.7	14.4	2195.8	7.8	18.2	10.9	24.2
B 4	T	5.1	68.3	4.5	15.0	1218.2	17.5	18.7	10.5	24.3
B 5	T	5.2	102.9	7.0	14.7	2354.3	12.6	10.5	10.4	24.5
B 6	T	5.2	65.3	4.8	13.6	620.3	10.0	18.0	10.7	24.0
B 7	T	5.0	52.6	3.9	13.5	695.5	20.4	18.7	10.9	24.0
B 8	T	4.3	65.1	4.6	14.1	975.1	16.5	25.3	10.8	23.7
B 9	S	5.1	53.6	4.1	13.1	756.1	18.9	33.5	10.4	24.3
B 10	S	4.6	59.4	4.6	12.9	409.7	34.0	41.9	9.6	24.9
C 1	S	4.3	70.0	4.7	15.0	2028.6	11.0	27.2	11.8	23.5
C 2	S	4.6	71.6	4.9	14.7	1719.0	11.7	13.9	11.1	23.9
C 3	S	5.1	97.9	7.3	13.4	1157.7	18.4	26.2	10.8	24.4
C 4	ND	4.8	55.0	3.9	14.0	618.1	34.0	31.8	10.0	24.1
C 5	ND	5.0	65.7	4.9	13.3	899.3	20.9	9.8	9.6	24.2
C 6	T	4.5	65.6	4.4	15.0	839.7	16.5	21.6	10.2	23.9
C 7	T	4.7	59.4	3.9	15.1	856.2	11.0	14.0	11.1	24.0
C 8	T	4.1	59.4	3.8	15.6	951.1	11.7	12.2	10.9	23.9
C 9	T	4.4	84.3	5.5	15.3	987.3	18.9	18.4	11.2	24.5
C 10	S	4.9	67.6	5.0	13.6	492.7	24.3	31.2	9.2	24.6
D 1	S	4.8	111.1	7.2	15.4	1751.2	10.7	16.7	11.4	24.7
D 2	S	4.4	95.8	6.5	14.8	1325.2	10.7	7.2	11.4	24.0
D 3	S	4.8	70.1	4.5	15.6	1145.2	13.9	19.0	10.7	24.2
D 4	ND	5.3	81.4	5.7	14.2	817.2	55.3	46.6	9.6	24.0
D 5	ND	4.9	53.5	3.8	14.1	919.9	13.3	10.1	9.9	24.7
D 6	ND	4.3	69.9	4.4	15.9	959.2	10.2	13.7	10.0	24.1
D 7	T	4.0	60.9	3.7	16.5	1383.6	9.4	8.8	11.1	23.4
D 8	S	4.0	53.4	3.6	14.7	1235.0	9.1	13.5	10.6	23.1
D 9	S	4.2	53.4	3.8	14.0	802.2	11.2	14.1	10.6	24.6
D 10	S	4.3	73.8	4.9	15.0	489.0	29.6	45.6	9.3	25.0
E 1	S	4.4	116.5	7.5	15.6	2403.3	9.7	10.5	12.0	24.2
E 2	S	4.3	54.4	3.7	14.8	1115.8	12.9	9.3	11.2	24.5
E 3	S	4.1	57.3	3.6	15.9	1483.4	19.1	21.1	10.8	23.7
E 4	V	5.2	57.8	4.4	13.2	1214.8	30.7	31.5	9.7	24.3
E 5	ND	4.5	41.4	2.9	14.1	446.5	23.9	9.5	9.3	24.9
E 6	ND	4.4	47.0	3.1	15.1	376.3	11.2	23.0	10.0	24.0
E 7	S	4.0	41.5	2.8	14.8	496.1	18.9	14.4	10.4	24.2
E 8	S	4.4	39.7	2.7	14.5	570.1	13.6	15.4	9.9	24.0
E 9	S	5.1	54.4	3.2	17.1	103.0	54.0	53.0	9.3	24.1
E 10	NC	4.0	85.4	4.9	17.5	915.5	20.9	17.2	9.6	24.9

Table 2 Soil characteristics in July and December (continue)

ID	地形分類	pH	土壌炭素	土壌窒素	土壌 CN比	リター層 (gm^{-2})	含水率 (%)		5 cm の地温 ($^{\circ}C$)	
			含有率 (mgC gDW^{-1})	含有率 (mgN gDW^{-1})			July	Dec.	July	Dec.
F 1	S	4.4	117.1	7.5	15.7	763.6	12.3	9.0	11.7	24.7
F 2	S	5.0	76.0	5.1	14.9	761.1	18.9	18.5	11.7	23.6
F 3	S	5.2	25.2	1.8	14.4	374.8	38.2	32.6	10.7	25.0
F 4	V	5.9	65.3	4.7	13.9	396.0	64.6	65.2	9.8	25.7
F 5	ND	4.9	57.8	4.0	14.3	303.6	13.9	24.3	10.0	25.5
F 6	ND	4.3	71.1	4.6	15.5	917.1	11.2	13.6	10.1	24.5
F 7	S	4.3	51.5	3.1	16.5	991.7	10.7	19.8	10.0	23.7
F 8	S	5.0	39.0	2.9	13.5	908.7	14.6	24.9	9.8	24.4
F 9	NC	4.5	53.8	3.1	17.2	575.1	41.7	25.6	10.3	24.5
F 10	NC	4.2	62.6	3.7	17.1	508.6	20.4	20.8	10.6	23.6
G 1	S	4.5	90.6	5.6	16.3	807.6	8.4	12.0	12.0	25.3
G 2	S	4.8	78.6	5.3	14.9	821.3	9.7	19.6	11.7	23.9
G 3	S	4.6	47.5	3.3	14.5	1037.2	9.7	14.6	11.5	24.0
G 4	V	5.8	90.7	5.0	18.1	328.3	74.8	65.2	9.5	26.0
G 5	ND	4.6	62.6	4.4	14.3	192.2	11.7	17.2	10.3	25.7
G 6	S	4.4	39.2	2.7	14.7	926.4	26.9	28.5	9.7	24.2
G 7	S	4.2	49.5	3.2	15.6	555.1	13.9	15.4	9.3	24.9
G 8	V	4.4	83.3	5.4	15.5	272.1	40.8	39.5	9.5	24.7
G 9	NC	4.6	55.7	3.5	16.0	629.4	16.5	9.7	11.1	23.8
G 10	NC	4.2	60.9	4.0	15.3	208.1	22.5	20.8	9.9	24.9
H 1	S	5.0	105.2	6.4	16.5	1173.0	10.8	11.6	11.4	24.2
H 2	S	4.3	64.1	3.9	16.5	678.1	9.1	19.4	12.3	25.0
H 3	S	4.7	45.2	3.0	15.0	771.7	15.5	21.5	10.8	24.6
H 4	V	5.9	86.6	5.8	14.8	364.8	60.1	61.9	9.6	25.2
H 5	ND	4.9	68.4	4.6	14.7	1172.3	8.8	18.7	10.2	25.2
H 6	S	4.4	47.4	3.2	14.6	879.3	10.8	23.8	9.6	24.4
H 7	V	4.7	46.4	2.9	15.7	1153.0	23.7	31.2	9.0	24.5
H 8	NC	4.4	31.0	1.9	16.3	619.4	21.2	23.5	9.3	24.5
H 9	NC	4.1	44.8	2.9	15.5	740.5	11.1	16.8	10.8	24.4
H 10	ND	4.5	45.4	2.6	17.2	578.8	24.7	30.9	10.2	24.3
I 1	S	4.8	59.5	4.0	14.9	738.9	9.1	12.6	10.7	25.0
I 2	S	4.7	38.1	2.6	14.5	1191.0	12.1	17.0	11.3	24.2
I 3	S	4.7	49.0	3.3	14.6	254.0	21.2	25.8	10.6	26.3
I 4	V	5.0	69.2	5.3	13.0	389.7	40.9	65.6	9.7	25.0
I 5	V	6.0	75.5	5.2	14.6	287.1	66.2	58.6	9.2	25.7
I 6	V	4.7	95.9	5.2	18.6	523.0	29.6	27.9	9.3	23.9
I 7	NC	4.6	63.0	3.7	17.1	621.9	29.3	27.0	8.8	25.4
I 8	NC	4.3	54.0	3.1	17.5	329.2	29.3	32.6	9.3	24.9
I 9	NC	4.6	47.6	2.9	16.5	610.3	13.1	22.0	11.5	24.2
I 10	NC	4.1	79.4	4.9	16.1	394.1	15.2	14.7	10.5	24.0
J 1	S	3.6	59.7	4.6	12.9	648.1	10.1	10.3	10.6	25.1
J 2	S	4.9	71.9	5.4	13.3	393.2	15.8	16.8	10.2	24.6
J 3	S	4.7	59.7	4.7	12.8	261.5	18.2	15.5	10.5	25.8
J 4	V	5.2	79.5	5.2	15.4	457.8	31.8	46.9	9.5	24.9
J 5	V	4.7	95.8	6.0	16.0	342.9	32.0	40.2	9.8	24.0
J 6	NC	5.1	66.7	3.9	16.9	777.6	30.3	29.0	9.5	24.4
J 7	NC	4.3	58.3	3.4	17.1	664.6	14.5	12.1	9.2	23.8
J 8	ND	4.3	35.1	2.2	15.9	316.4	15.2	19.1	10.2	24.6
J 9	ND	4.3	37.0	2.2	16.8	740.5	26.3	28.2	10.5	24.3
J 10	NC	4.1	65.7	4.5	14.6	948.3	18.2	16.1	10.4	24.9

Table 3 GreenhousegasfluxinJulyandDecember

ID	地形 分類	CO ² flux (mgCm ⁻² h ⁻¹)		CH ⁴ flux (μgCm ⁻² h ⁻¹)		N ² Oflux (μgNm ⁻² h ⁻¹)	
		July	Dec.	July	Dec.	July	Dec.
A 1	T	53.9	173.5	-61.8	-91.7	0.3	9.3
A 2	T	41.7	156.2	-65.7	-87.8	2.3	18.6
A 3	T	50.2	132.4	-77.1	-90.4	64.0	10.1
A 4	T	49.1	143.5	-75.2	-94.0	1.6	11.0
A 5	T	34.9	131.9	-66.1	-74.2	0.6	21.4
A 6	T	49.9	166.3	-70.7	-89.8	2.0	31.7
A 7	T	22.7	99.5	-46.1	-93.1	0.4	10.1
A 8	T	33.9	162.8	-47.1	-90.2	29.0	8.2
A 9	T	35.7	116.5	-53.2	-88.4	3.9	15.9
A 10	S	31.3	89.4	-89.2	-99.1	2.8	5.7
B 1	T	36.7	100.6	-61.9	-68.5	1.2	9.3
B 2	T	59.5	139.0	-67.0	-80.2	4.0	24.6
B 3	T	46.7	143.3	-75.5	-83.5	4.4	15.4
B 4	T	50.0	121.9	-77.1	-74.2	2.5	16.4
B 5	T	42.5	154.6	-53.6	-81.5	1.2	22.1
B 6	T	35.7	142.6	-56.7	-87.8	0.3	6.4
B 7	T	48.4	112.9	-54.4	-48.3	8.7	12.0
B 8	T	42.2	107.3	-63.2	-54.3	6.4	13.1
B 9	S	-	209.1	-	-36.7	-	36.8
B 10	S	44.5	135.3	-22.8	-42.5	1.6	30.2
C 1	S	28.3	130.0	-51.4	-48.4	1.5	29.0
C 2	S	29.6	141.1	-47.6	-72.2	1.4	12.0
C 3	S	52.6	118.0	-64.3	-63.9	2.2	10.9
C 4	ND	30.3	120.7	-42.7	-39.1	4.3	14.3
C 5	ND	50.4	202.6	-41.7	-58.3	6.1	20.1
C 6	T	45.4	90.0	-65.4	-78.8	0.4	6.5
C 7	T	39.0	117.2	-38.6	-62.9	3.3	7.5
C 8	T	31.9	104.7	-22.5	-39.3	2.8	7.6
C 9	T	31.4	126.5	-22.8	-59.2	0.8	32.1
C 10	S	-	133.3	-	-61.7	-	37.7
D 1	S	56.5	174.4	-72.3	-79.6	1.7	27.9
D 2	S	20.8	127.2	-25.6	-71.5	8.6	13.9
D 3	S	43.6	107.4	-41.9	-45.9	2.1	23.2
D 4	ND	49.4	188.8	-11.6	-18.9	25.2	186.6
D 5	ND	22.1	135.3	-45.4	-99.7	3.2	4.6
D 6	ND	41.7	129.0	-42.8	-64.9	-0.5	9.5
D 7	T	19.9	117.7	-14.0	-31.7	2.0	8.7
D 8	S	26.0	112.3	-18.5	-50.6	-1.3	6.7
D 9	S	27.2	90.2	-46.5	-96.9	2.8	6.7
D 10	S	-	62.1	-	-4.0	-	298.7
E 1	S	49.8	179.9	-39.5	-65.9	2.6	22.1
E 2	S	52.8	176.9	-36.4	-55.9	3.0	34.3
E 3	S	45.7	165.0	-10.9	-37.3	2.7	13.5
E 4	V	53.7	166.9	-19.8	-38.0	6.2	19.8
E 5	ND	37.1	82.7	-34.7	-45.8	3.7	48.4
E 6	ND	47.7	110.2	-50.7	-82.4	2.6	5.9
E 7	S	62.3	168.7	-26.7	-33.4	4.1	25.3
E 8	S	41.6	164.0	-35.1	-34.2	-0.5	8.8
E 9	S	22.0	146.0	-9.3	-19.4	15.0	74.1
E 10	NC	31.9	107.8	-39.9	-41.8	1.7	15.2

Table 3 GreenhousegasfluxinJulyandDecember (continue)

ID	地形 分類	CO ² flux (mgCm ⁻² h ⁻¹)		CH ⁴ flux (μgCm ⁻² h ⁻¹)		N ² Oflux (μgNm ⁻² h ⁻¹)	
		July	Dec.	July	Dec.	July	Dec.
F 1	S	30.5	118.0	-62.4	-81.1	0.0	7.9
F 2	S	34.1	89.5	-38.7	-57.1	3.0	11.6
F 3	S	43.0	85.3	-18.4	28.0	1.7	18.6
F 4	V	24.1	43.4	-1.3	17.1	4.1	13.0
F 5	ND	20.8	137.3	-27.7	-60.4	1.9	13.9
F 6	ND	34.0	176.0	-63.3	-85.3	0.0	16.0
F 7	S	32.6	84.9	-22.0	-33.1	1.3	2.6
F 8	S	49.2	117.0	-27.0	-47.9	2.5	9.5
F 9	NC	25.9	95.9	-10.3	7.7	2.4	155.7
F 10	NC	17.0	99.8	-11.1	-46.8	4.2	11.4
G 1	S	48.5	143.2	-65.1	-79.5	4.7	15.9
G 2	S	81.0	194.9	-46.4	-58.1	4.0	19.0
G 3	S	46.0	164.0	-33.7	-46.9	3.0	17.7
G 4	V	49.0	89.4	-4.4	16.7	4.1	14.1
G 5	ND	33.6	96.7	-51.5	-73.0	2.6	6.4
G 6	S	33.4	88.2	-20.9	-25.8	4.5	19.7
G 7	S	32.0	117.3	-27.3	-23.4	2.6	1.2
G 8	V	37.8	157.5	-13.6	41.8	11.4	149.6
G 9	NC	30.1	137.2	-51.9	-65.8	2.8	15.8
G 10	NC	14.9	64.5	-15.4	-33.7	1.4	6.1
H 1	S	60.7	184.6	-56.1	-83.8	3.8	19.2
H 2	S	52.9	111.4	-30.5	-54.8	4.8	12.2
H 3	S	33.0	111.1	-23.2	-43.6	1.4	11.2
H 4	V	38.7	104.8	-3.0	-0.7	6.9	38.6
H 5	ND	81.3	140.3	-53.0	-78.3	1.8	7.7
H 6	S	36.3	90.5	-25.0	-68.5	0.5	2.2
H 7	V	53.3	165.0	-14.7	-19.4	1.7	51.5
H 8	NC	35.7	103.2	-21.8	-40.8	1.6	7.0
H 9	NC	29.2	127.0	-25.8	-49.6	2.3	23.3
H 10	ND	13.8	69.9	6.8	-19.1	4.4	8.1
I 1	S	33.3	78.9	-66.7	-84.1	1.1	7.9
I 2	S	43.8	146.7	-48.1	-105.7	2.9	31.0
I 3	S	29.0	129.8	-32.5	-46.0	1.3	28.9
I 4	V	31.3	83.5	-5.0	39.8	16.6	286.2
I 5	V	28.9	184.0	-1.3	-4.2	2.5	72.1
I 6	V	33.3	120.7	-24.2	-29.6	4.7	21.5
I 7	NC	25.9	78.5	-5.1	-12.3	4.1	56.5
I 8	NC	24.1	100.5	-17.6	-10.0	0.2	7.1
I 9	NC	29.1	59.2	-40.5	-51.1	3.2	6.5
I 10	NC	26.3	114.0	-47.7	-48.2	0.4	8.6
J 1	S	39.8	117.8	-64.6	-74.7	1.6	7.1
J 2	S	23.5	124.7	-50.0	-106.4	2.1	8.6
J 3	S	61.3	224.5	-38.1	-50.7	29.1	187.0
J 4	V	41.8	167.0	-7.7	-26.1	9.1	26.1
J 5	V	32.0	135.0	-8.3	-24.9	4.8	119.8
J 6	NC	33.8	194.3	-25.5	-22.3	2.3	22.9
J 7	NC	29.0	132.1	-35.7	-45.8	2.0	8.5
J 8	ND	23.3	97.6	-22.9	-61.4	4.7	6.3
J 9	ND	42.9	101.6	-16.1	-40.8	2.2	9.6
J 10	NC	27.9	183.6	-3.0	-43.3	1.6	18.4

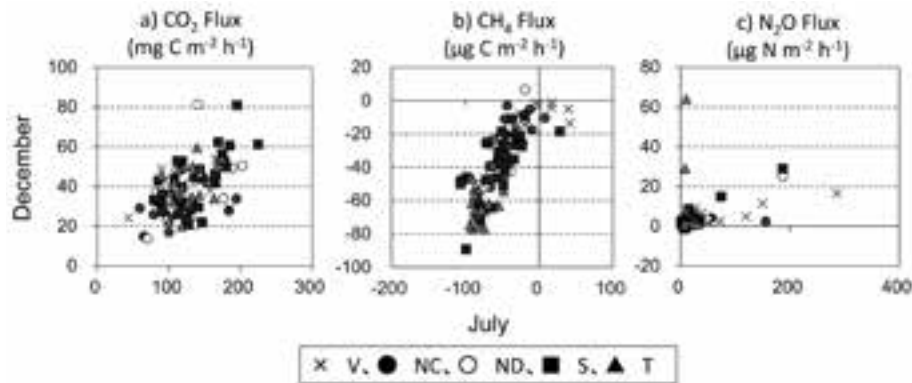


Fig. 5 Relation of a) CO₂, b) CH₄ and c) N₂O fluxes in July and December according to different topography.

The symbols indicate ; V : valley sub-plots, NC : north slope coniferous trees dominating sub-plots, ND : north slope deciduous trees dominating sub-plots, S : south slope sub-plots, T : hill top sub-plots.

した (表 3)。7 月において最も高い区画は J 3 (S), 最も低い区画は F 4 (V) であり, 12 月において最も高い区画は H10, 最も低い区画は H 5 でどちらも地形カテゴリーは ND であった。プロットの北の方が両時期ともに高い傾向を示した。CH₄ フラックスは, 7 月では $-106 \sim 42 \mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$, 12 月は $-89 \sim 7 \mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ の範囲で存在し, 両時期ともに V (E 4-J 4, I 5-I 8) で高く, CH₄ の吸収ではなく放出を示す傾向を示した。N₂O フラックスは, 7 月は $1 \sim 299 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ で, 12 月は $-1 \sim 64 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ であった。N₂O フラックスは両時期ともにホットスポット的な場所が存在したが, この場所は, 7 月と 12 月で必ずしも一致しなかった。特に冬にホットスポットとなったのは T であった。CO₂ および N₂O フラックスは 7 月の方が 12 月より放出量が, CH₄ フラックスは 7 月の方が 12 月より吸収量および放出量が大きかった (図 5)。7 月と 12 月のフラックスの相関係数は CO₂ フラックスが 0.26, CH₄ フラックスが 0.63, N₂O フラックスで 0.13 であり, 特に CH₄ フラックスは両時期ともに高い類似性が認められた。

以上の結果は, 丘陵地の土壌特性の空間変動が非常に大きいものの, 地形カテゴリーによって分類できる可能性を示している。土壌特性によって影響される物質循環は, それぞれの物質循環フローの特性によって異なっていた。本研究で扱った温室効果ガスフラックスの中でも, 特に CH₄ フラックスは地形に大きく依存し, V と T で明確な違いを示した。これは, CH₄ フラックスが, 後期的な条件では CH₄ 酸化 (Conrad, 2007) に主に依存するのに対し,

嫌気的な条件では CH₄ 生成 (Gulledge *et al.*, 1997) が卓越するためである。一方, N₂O フラックスは, 調査を行った 2 時期で大きな違いを示し, 高いフラックスを示した区画が 7 月と 12 月で大きく異なった。N₂O フラックスは空間的に大きくばらつき, ホットスポットを示すことが知られている (Nishina *et al.*, 2009)。7 月に大きなフラックスを示した地点は, V であったのに対し, 12 月では T であった (図 5)。T は主に広葉樹が占めており, 冬季における落葉が有機物を供給し, 落葉によって地表面に到達した日光による地温の上昇が分解を促進したためと考えられる。CO₂ フラックスに N₂O フラックスのような地形カテゴリーの時期的な違いが認められなかったのは, 12 月のフラックスが 7 月に比べ非常に小さかったためと考えられた。

4. まとめ

本調査により, 丘陵地においては, CH₄ フラックスは夏季と冬季において, 空間変動の違いが認められず, 季節に関わらず地形の影響を強く受けていることが明らかになった。一方, CO₂ フラックスに N₂O フラックスは, 夏季と冬季において, 地形および植生の相互作用により異なる分布を示した。

今後, 丘陵地において調査を行う場合は, 地形カテゴリーに着目し, 空間変動を加味した戦略的な調査が必要であることが示された。

引用文献

Conrad, R. (2007) Microbial ecology of methanogens and methanotrophs. *Advances in Agronomy*

- 96, 1-63.
- Florinsky, I.V., McMahon, S. and Burton, D. L. (2004) Topographic control of soil microbial activity : a case study of denitrifiers. *Geoderma* 119 : 33-53.
- Gulledge, J., Doyle, A. P. and Schimel J. P. (1997) Different NH_4^+ inhibition patterns of soil CH_4 consumption : A result of distinct CH_4 -oxidizer populations across sites? *Soil Biology and Biochemistry* 29 : 13-21.
- Kimura, S.D., Saito M, Hara, H., Xu, Y. H. and Okazaki, M. (2009) Comparison of Nitrogen dry deposition on cedar and oak leaves in the Tama hills using foliar rinsing method. *Water, Air and Soil Pollution* 202 : 369-377.
- Nishina, K., Takenaka C and Ishizuka S (2009) Spatiotemporal variation in N_2O flux within a slope in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) forest. *Biogeochemistry* 96 : 163-175.
- 岡崎正規 (1997) 多摩丘陵の地形と土壌. 松井健, 武内和彦, 田村俊和編「丘陵地の自然環境」Ⅲ 自然環境把握のケーススタディ. 108-110.

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CD-R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」に使用さ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. 陸水学雑誌 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 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
伊豆田 猛 環境資源科学科教授
澁澤 栄 地域生態システム学科教授
田中 綾 共同獣医学科教授

事務局 五十嵐 明 府中地区総務事務長補佐 (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

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 Applied Biological Science
Yutaka MIURA Associate Professor, Dept. of Applied Biological Science
Takeshi IZUTA Professor, Dept. of Environmental and Natural Resources Science
Sakae SHIBUSAWA Professor, Dept. of Ecological Science
Aya TANAKA Associate Professor, Dept. of Veterinary Medicine

Management Office

Akira IGARASHI Chief of Field Science Center Office

平成24年 5月25日 印刷

平成24年 5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. 10

May, 2012

Originals

- 1 Effects of timings of nitrogen application and irrigation on corn growth / M. Zarif SHARIFI, S. MATSUMURA

- 9 Long term field investigation about nature environment and quality of wireless transmission in FM Tamakyuryo / K. OHSHIMA, H. HARA, Y. HAGIWARA and M. TERADA

Research materials

- 17 New research results for blueberries / T. BAN

- 23 Body size of raccoon dogs and Japanese badgers trapped in the Field Museum Tamakyuryo, Tokyo University of Agriculture and Technology / Y. KURAMOTO, Y. KANEKO

- 27 Development for the identification of tree species using hyperspectral image analysis in FM Tamakyuro / T. GOMI, F. ANDO, F. FUJIMORI, Y. TAKARA and N. NORO

- 33 Spatial variability of soil properties within the JaLTER Plot, FM Tamakyuryo / S. D. KIMURA, F. (Mo) KISHIMOTO, N. OURA, S. SEKIKAWA, S. YONEMURA, S. SUDO, A. HAYAKAWA, K. MINAMIKAWA, Y. TAKADA and H. HARA

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