

フィールドサイエンス

Journal of Field Science

No.4 2003



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15年12月

フィールドサイエンス 第4号

目次

論文

- 1 畑地からの亜酸化窒素放出に及ぼす耕起および農薬散布の影響／藤沼良典・松村昭治
- 9 鳥取における降水の酸性化（英文）／原 宏
- 19 給食調理残渣飼料の給与が肥育豚の発育と肉質性状に及ぼす影響／宮澤賢司・石田幸一・平田哲兵・田中佑一・相俊彦・富永麻衣子・横山倫子・牧野茂三郎・石井 憲・上野啓介・神田修平・板橋久雄

研究資料

- 25 チリ共和国におけるトマトおよび野生トマト属植物の採集／川部眞登・有江 力
- 33 東京農工大学フィールドミュージアム（FM）秩父式—鉄板天井式—の炭窯／内田武次

論文

畑地からの亜酸化窒素放出に及ぼす耕起および農薬散布の影響^{*1}藤沼 良典^{*2}・松村 昭治^{*2}

Effects of tillage and pesticides on nitrous oxide emission from an upland field

Ryousuke FUJIMURA^{*2} and Shoji MATSUMURA^{*2}

Nitrous oxide flux from upland field of TUAT, Fuchu, Tokyo, where soybean was grown, was continuously determined in 1995. The objective is to examine the effects of field managements such as tillage, amendment application, pesticides spraying, on the emission of nitrous oxide from the upland field. Eight treatments, which were made by combining three treatments of tillage (tillage or no tillage), amendments (manure or fertilizer) and chemicals (pesticide or no pesticide), were set up in the Andi soil field of 1.5 ha. Nitrous oxide flux had continuously been determined by the chamber method from the beginning stage of soybean to the harvest time.

As the results, the treatments of amendment application and pesticide spraying did not affect the amount of nitrous oxide emitted from the soil, but it was shown that the tillage treatment increased the nitrous oxide flux about 20% in comparison with no tillage plots.

Keywords : Emission of nitrous oxide, Soybean Field, Tillage, Amendments, Pesticide

東京都府中市の大学農場において1995年にダイズ栽培中の圃場から放出される亜酸化窒素 (N_2O) 量を測定した。目的は耕起作業, 施肥連用, 化学肥料, 農薬散布などの管理作業が N_2O 放出量に及ぼす影響を明らかにすることである。1.5 ha の火山灰畑圃場に, 耕起処理 (耕起または不耕起), 施肥処理 (堆肥 M または化学肥料 F) および農薬散布の有無を組み合わせ, 8 試験区を 2 連で設置し, ダイズの生育初期から収穫期まで, チャンバー法で定期的に N_2O 放出量を測定した。

N_2O 放出量に及ぼす各処理の影響を統計的に解析した結果, 施肥処理 (F または M) は N_2O 放出量に全く影響せず, 農薬散布処理 (P または NP) も同様であった。しかし, 耕起処理 (T) 区では不耕起 (NT) 区よりも放出量が約20%多い結果となり, 耕起作業が N_2O 放出量を増大する方向に作用すると推察された。

キーワード : 亜酸化窒素放出量, ダイズ栽培圃場, 耕起, 施肥資材, 農薬散布

1. はじめに

地球の平均気温は, 1860~1920年の60年間は約0.2℃の範囲で変動したが, 上昇傾向はみられなかった。しかし, 1920年以後, 平均気温は徐々に上昇し始め, 20年間でそれまでよりも約0.3℃上昇

し, 1950~1980年の間は一時的に横ばい状態を維持したが, 以後再び上昇に転じ, 1992年までにさらに約0.3℃上昇した (Houghton 1994)。この上昇傾向は現在も続いている。このような地球規模での温暖化現象の原因は, 直接的には大気中の二酸化炭素, メタン, 亜酸化窒素, フロン (クロロフルオロ

^{*1} Received Oct. 2, 2002 ; Accepted Apr. 5, 2003

^{*2} 東京農工大学農学部附属フィールドサイエンスセンター 〒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, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

カーボン)などの濃度上昇であるとされている (IPCC 2001)。

亜酸化窒素 (以下 N_2O) は自然大気中に微量に存在するガス成分であり、1750年の段階での濃度は270 ppbであったが、1998年には314 ppbとなり、1990年代における増加速度は0.8 ppb/年に達する (IPCC 2001)。 N_2O の年間総発生量は14.9 TgNとされ、そのうちの10.8 TgNは海洋や自然土壌などの自然的発生源に由来し、4.1 TgNが農耕地や畜産などの人為的発生源に由来すると見積もられている (IPCC 2001)。近年の濃度上昇は人為的原因によると考えられ、とくに農耕地からの発生量が比較的多いことから、これを低減する方策が課題となっている。 N_2O はアンモニア態窒素 (NH_4^+-N)が硝酸態窒素 (NO_3^--N)に酸化される過程 (硝化過程)で発生するとともに、 NO_3^--N が N_2 に還元される過程 (脱窒過程)においても発生することが知られており、すなわち、農耕地に肥料として施用される窒素が多ければ多いほど発生量が増加する可能性が高くなる。

世界の人口は2030年には約80億人に増加すると予測されることから、農耕地における食糧生産活動が今後さらに集約的に行われることは必至であり、窒素施肥量も増大せざるをえない。したがって、農耕地における施肥の問題、とくに施肥資材の種類および施用方法と N_2O 発生量との関係を明らかにし、発生を抑制する技術を開発することが望まれる。

東京農工大学農学部附属フィールドサイエンスセンター (以下FSC)の畑圃場では、1993年以来、わが国の風土に適した環境保全型農業の確立を目標として、これまでの栽培体系を見直すための長期圃場試験が行われている。この試験では、化学肥料や有機質資材として投入される養分の動態、耕うん作業や農薬散布が土壌を中心とする生態系に及ぼす影響、機械による合理的除草体系の確立などが主な研究課題となっている。作物収量に及ぼす施肥資材と耕うん法の影響をみると、トウモロコシやコムギのようなイネ科作物では化学肥料が堆肥よりも肥効のうえで優り、ダイズでは逆になる傾向が認められること、また、耕うん法の影響は大きくないことなどが示されている (松村ら 2000)。本報では、施肥養分の動態研究の一環として、施肥資材の違い、耕うん法の違い、および農薬散布の有無が圃場からの N_2O 放出量に及ぼす影響について調べた結果を報告する。

2. 材料および方法

2.1 試験圃場およびダイズ栽培方法

本試験は東京農工大学農学部附属農場 (現FSC府中農場)の畑作長期試験圃場 (腐植に富む黒ボク土壌、土性L、面積1.5 ha)において実施された。この土地は1940年代から畑として利用されていたが、起伏の多い地形であったために、1991年度に基盤整備が行われた圃場である。この工事では、まず表層の黒ボク土壌をすべて剥いておき、下層に同質の赤土を搬入して圃場全体を均平化し、その上に黒ボク土壌を同じ厚さに埋め戻した。こうして、厚さ約0.5 mの腐植に富む火山灰土壌の表層と厚さ数mの赤土の下層を重ねた構造の供試圃場が整備された。1992年5月から1993年6月まで無肥料でトウモロコシとコムギを栽培し、1993年7月から栽培試験を開始した。すなわち、深さ25 cmまでロータリーで毎作耕耘する耕起 (T)と、耕起を行わず播種のための整地作業として深さ5-6 cmにロータリーをかける不耕起 (NT、一般に播種前の整地や除草のための中耕作業は耕起に含まれない)、化学肥料連用 (F)と堆肥連用 (M)、および農薬散布 (P)と無農薬 (NP)の3因子2水準からなる $L_8 (2^3)$ 直交配列を基礎とした試験区が設定され、さらに化学肥料と堆肥を半量ずつ施用する併用区が加えられている (各2連、Fig. 1)。まず、飼料トウモロコシを栽培し、'93年冬にエンバク、'94年夏に再び飼料トウモロコシ、'94年冬にコムギ、'95年夏にダイズが栽培された。エンバクや飼料トウモロコシは地上部全体が収穫目的部位であり、刈り株以外は圃場

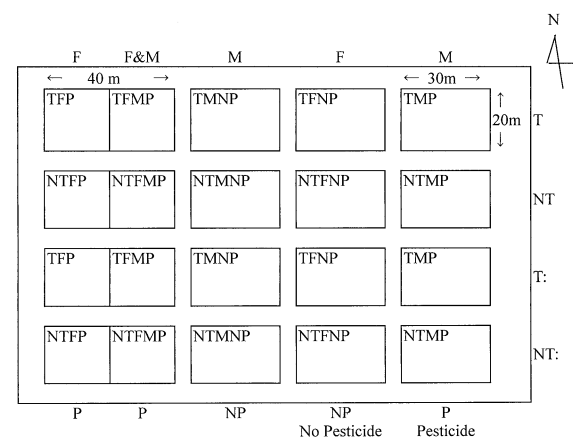


Fig. 1. The Experimental field in the University Farm, TUAT

T : Tillage, NT : No-tillage, M : Manure, F : Fertilizer, P : Pesticide, NP : No-pesticide

外に搬出される。コムギの場合も、コンバインで穀粒収穫後、刈り株以外は機械で集めて圃場外へ持ち出される。刈り株や収穫の際のロス部分は、耕起区では深さ25 cm まで鋤き込み・混合されるが、不耕起区では深さ5 cm までに残存することになる。

本試験はこのダイズ栽培期間中に実施された。主な管理作業の内容は Table 1 のとおりである。すなわち、前作のコムギを収穫後、施肥処理として、M 区には7月2日に牛糞オガクズ堆肥 (N-P₂O₅-K₂O としてそれぞれ0.65-0.15-0.70%含有, C/N 比21.6) を25,000 kg ha⁻¹の割合でマニュアルスプレッダーを用いて全面散布し、一方、F 区には7月12日にアンモニア系化成肥料 (組成3-10-10) を30-100-100 kg ha⁻¹ (N-P₂O₅-K₂O) の割合で手作業により全面散布した。また、F 区では8月下旬に下葉がやや黄化する傾向が見られたため、9月8日に同肥料を15-50-50 kg ha⁻¹ (N-P₂O₅-K₂O) 畝間に施用した。7月13~14日に耕起処理を行い、7月17日にダイズ (品種エンレイ) を畝間70 cm, 株間20 cm で2粒ずつ播種し、発芽後の管理は慣行に従った。農業処理としては、P 区では播種直後に除草剤 (トリフルラリン44.5%含有乳剤) を2.5 L ha⁻¹地表全面散布し、9月16日 (ダイズ子実発育期) に殺虫剤パーマチオン (フェンバレレート10%・MEP 30%含有水和剤) 750 g ha⁻¹を散布した。NP 区には農薬は一切使用しなかった。

2.2 調査項目および調査方法

土壌からの N₂O フラックスの測定はクローズドチャンバー法で行った。チャンバーは、Matthiasら (1980) および八木ら (1991) の方法を参考にし、ポリプロピレン製薄型コンテナ (45 cm×54.5 cm×7 cm) を加工して作成した。堆肥・化

学肥料の併用区 (Fig. 1 の F & M) を除く16区画を測定対象とし、このチャンバーを各区画内2地点の畝間に深さ3 cm に埋め込んで設置した。設置5分後と15分後に、あらかじめ真空にしておいた耐圧バイアル管 (15 ml) を用いてチャンバーに取り付けた針からサンプルガスを採集した (ただし、フラックスの少ない時期には設置20分後に2回目の採集を行った)。採集時間は10~15秒とした。サンプリングは毎回同じ地点で行った (2連)。N₂O フラックスは気温に依存し、一日の中でアレニウス回帰を示すことが Conradら (1983) によって明らかにされていることから、サンプリングは午後2時を中心に、午後12時30分から午後3時までの間に行った。

サンプルガス中の N₂O 濃度は ECD 付きガスクロマトグラフ (島津製 GC-14 B) を用いて測定した。分析条件は、ヘリウム (純度99.9999%) をキャリアとし、流量30 ml/min, カラム温度60°C, インジェクション温度80°C, ECD 検出器温度340°Cとした。分析カラムはポラパック Q (50~80 mesh, 3 m) で、ガードカラムとしてドライアライト (除湿剤) 6 cm とソーダアスベスト (二酸化炭素を取り除く) 6 cm を取り付けてある。分析に用いたサンプル量は0.5~1.0 ml で、分析時の検出器の感度に応じて変えた。この方法によって定量可能な N₂O の濃度は約0.03 ppm (N₂O) で、すなわち、検出限界は約0.02 µgN である。校正は次のように行った。容積1 Lの標準ガス希釈用ガラス容器 (三方コック付き) 内の空気を高純度ヘリウムガスで置換し、この中にストッパー付きガスタイトシリンジで100% N₂O ガス1 mL を注入して1000倍希釈ガスを調製した。このガスの N₂O 濃度は1.2 mgN L⁻¹とな

Table 1. Records of field management for soybean in 1995

Items	Date	Method and so on
Harvest of previous crop, wheat	June 14 to 16	A combine. The straw was carried out of the field.
Manure application	July 2	A manure spreader. Rate : 25,000 kg ha ⁻¹ to M plots.
Fertilizer application	July 12	By hand. Rate : 30-100-100 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) kg ha ⁻¹ to F plots.
	September 8	By hand. Rate : 15-50-50 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) kg ha ⁻¹ to F plots.
Tillage treatment	July 13 to 14	A rotary cultivator in T plots.
Seeding	July 17	A seeder. The row space was 0.7 m and the hill space 0.2 m.
Herbicide spraying	July 18 to 19	Trifluralin, 2.5 L ha ⁻¹ to P plots.
Mechanical weeding	August 21	A cultivator
Insecticide spraying	September 16	Parmathion powder (10% Fenvalerate + 30% MEP), Rate : 0.75 kg ha ⁻¹ to soybean plants in P plots.
Harvest of soybean	October 24	A bean harvester

る。これを校正用標準ガスとし、1 mL ずつ用いて20サンプルごとに校正した。1 サンプルの分析にかかる時間は注入間隔を含めて約8.5分であり、約60サンプルごとにカラムのエージングを行った。

こうして10分間または15分間におけるチャンバー内の空気中 N_2O 濃度の上昇速度を求め、チャンバーの面積から1ヘクタール・1日あたりのフラックスに換算した。ダイズの株全体を栽培期間を通じてチャンバーで覆うことは困難であるため、チャンバーを畝間の中央ではなく、できるだけ株元に寄せて設置し、畝と畝間の両部分を覆うようにした。測定間隔は原則として3~4日とした。

本試験では畑地からの N_2O フラックスのほかに気温、地温、土壌水分 (pF) および土壌 pH を測定した。気温はセンサー式温度計を用いて N_2O サンプルング時 (正午から15時の間) に地上約50 cmの高さにおいて測定し、地温はセンサー式温度計 (Eberso 社製 HI 8054) を用い、地温と同日時に、深さ約5 cmの温度を測定した。土壌水分 (pF) の測定は、 N_2O サンプルング時ごとに、試験区内の N_2O サンプルング地点の深さ10 cmにおけるpF値をセラミックス土壌水分計 pF-33 ((株) 藤原製作所) を用いて行った。また、8月下旬から5回、深さ0~10 cmの位置から土壌を採取し、2 M-KClで抽出して無機態窒素を測定した。アンモニア態窒素はインドフェノールブルー比色法で、硝酸態窒素は改良カタルド法 (Matsumura & Witjaksono 1999 a) で定量した。

3. 結果および考察

3.1 気温、地温、降水量および土壌水分の推移

測定を開始した7月下旬以来、8月中の気温 (正午から15時の間に測定) は常に30℃を超えており、また、深さ5 cmにおける地温も8月上旬中には30℃以上であった。その後、両者とも徐々に下降し、10月初旬には気温は約25℃に、地温は約20℃になった (Fig. 2-a)。降水のあった日数は17日で、8月上旬、下旬、9月中旬および10月上旬に30 mm以上のまとまった降水があった (Fig. 2-b)。土壌水分はF区、M区ともに8月中旬から9月初旬までpF 2.0以上の値を示し乾燥気味に推移したが、9月初めの豪雨により乾燥は緩和された。9月中旬から10月中旬にかけての約1ヶ月間は、M区の方が土壌水分が高い傾向にあった (Fig. 3)。これは有機物の連用により土壌中の腐植が増加して孔

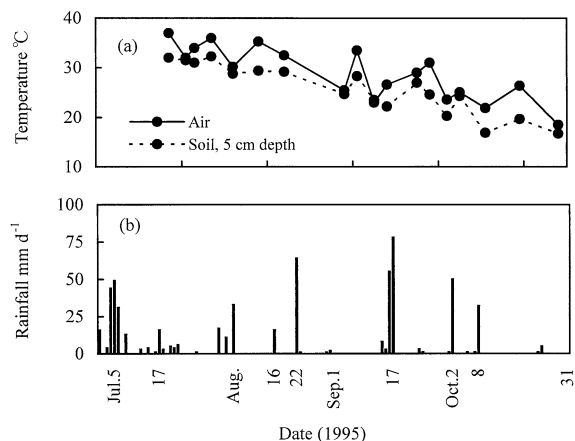


Fig. 2. Temperature (a) and precipitation (b) during the experiment

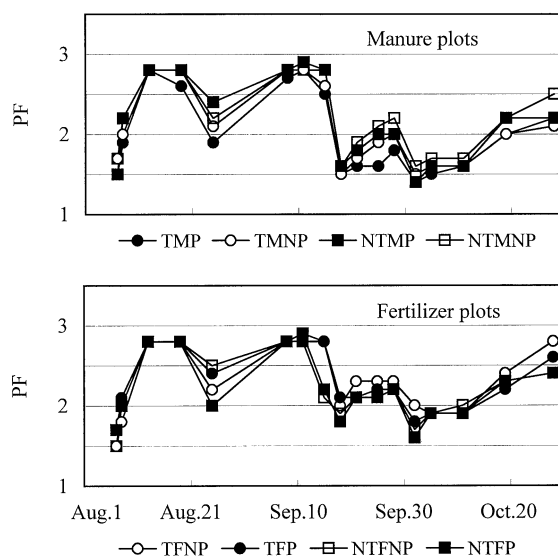


Fig. 3. Changes of water potential in soil
T: Tillage, NT: No-tillage, M: Manure, F: Fertilizer,
P: Pesticide, NP: No-pesticide

隙率が增大し、降雨の後で保水量が多かったためと考えられた。

3.2 N_2O フラックスに及ぼす耕起、施肥および農薬散布処理の影響

Fig. 4に N_2O フラックスのデータを処理別にまとめて示した。全試験区の共通点として、 N_2O フラックスのピークは8月初旬および9月中下旬に認められた。8月初旬には5日間で合計61 mm、また、9月中旬には4日間で144 mmの降雨があり、それぞれ降雨の直後にフラックスが現れた。とくに9月中旬のピークは顕著であり、それまでの乾燥気味の土壌で集積した硝酸態窒素に加えて、高温・湿潤条件が重なり、活発な脱窒が起こったためと推定された。土壌中硝酸態窒素の含有率は8月25日の総平均40.7 mgN kg⁻¹から10月13日の24.5 mgN kg⁻¹まで低下しており、作物による吸収以外に脱窒もこ

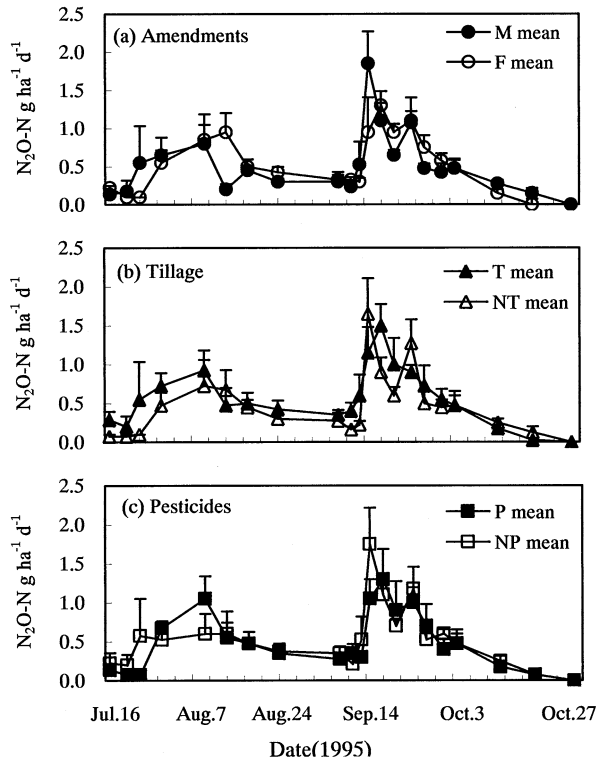


Fig. 4. Effects of the amendments (a), tillage (b), and pesticide application (c) on N₂O emission from the field

M : Manure, F : Fertilizer, T : Tillage, NT : No-tillage, P : Pesticide, NP : No-pesticide. Bars on the symbols denote standard error.

の低下を助長していたことがわかる (Table 2, 3)。8月22日には64 mmの降水があった (Fig. 2 - b) が、このときにはN₂Oのピークは認められなかった。8月上中旬は雨が降らず非常に乾燥していた (Fig. 3)。Goodroad & Keeney (1984) や Hutchinson ら (1992) は硝化反応に起因するN₂Oが土壌水分の影響を受けることを報告している。乾燥のために硝化反応が進まずアンモニア態窒素が残存していたならば、この降雨の後で硝化過程でのN₂Oフラックスが認められたはずである。したがって、8月22日の降雨のときは施肥後約40日を経過しており、施肥由来の窒素はほとんどすべて硝化されていると考えられることから、ここでは脱窒を予測していたが、この降雨でも土壌に還元的部位ができるほどには湿潤にならなかったと推察される。

Fig. 4のN₂Oフラックスから、実験期間中におけるN₂O発生量を算出し、8月中旬のピークを含む7月16日～9月12日の期間とその後の期間に分けて示した (Table 4)。P値から明らかなように、いずれの処理区間においてもN₂O発生量に有意な差は認められなかったが、9月13日～10月27日の期間をみると、耕起区と不耕起区とのP値が0.25と比較的小さくなっており、耕起の有無が影響を及ぼす可能性が考えられた。両区における土壌条件の違

Table 2. Concentration of ammonium nitrogen in soil (N mg kg⁻¹)

	Aug. 25	Sep. 05	Sep. 23	Ocr. 13	Oct. 30
TFNP	5.0	4.7	37.1	0.5	2.5
TFP	4.5	4.5	27.7	0.5	2.4
NTFNP	3.6	3.7	31.8	4.7	2.4
NTFP	6.3	6.5	76.1	2.6	2.0
TMNP	4.0	4.3	3.8	0.6	2.7
TMP	4.7	4.9	4.5	4.2	2.9
NTMNP	4.0	4.1	3.2	0.0	2.4
NTMP	7.6	7.7	3.8	2.8	1.8
Mean of F	4.9	4.9	37.1	2.1	2.3
Mean of M	5.1	5.3	10.0	1.9	2.5
P value	0.83	0.71	0.60	0.90	0.65
Mean of T	4.6	4.6	30.4	1.5	2.6
Mean of NT	5.4	5.5	16.6	2.5	2.2
P value	0.65	0.39	0.49	0.45	0.04
Mean of P	5.8	5.9	21.9	2.5	2.3
Mean of NP	4.2	4.2	25.1	1.5	2.5
P value	0.83	0.71	0.65	0.90	0.65

T : Tillage, NT : No-tillage, M : Manure, F : Fertilizer, P : Pesticide, NP : No-pesticide, P-value : Statistical probability calculated by variance analysis

Table 3. Concentration of nitrate nitrogen in soil (N mg kg⁻¹)

	Aug. 25	Sep. 05	Sep. 23	Ocr. 13	Oct. 30
TFNP	31.3	35.7	27.5	25.6	23.1
TFP	50.4	45.9	39.0	27.2	30.9
NTFNP	51.8	41.3	33.1	17.7	19.8
NTFP	43.8	43.2	35.2	29.4	22.5
TMNP	37.9	33.1	29.6	25.9	24.4
TMP	33.6	35.0	27.8	24.0	21.3
NTMNP	40.8	34.3	27.1	20.3	25.3
NTMP	36.0	38.5	30.5	26.0	20.5
Mean of F	44.3	41.5	33.7	25.0	24.1
Mean of M	37.1	35.2	28.8	24.1	22.9
P value	0.19	0.04	0.10	0.76	0.67
Mean of T	38.3	37.4	31.0	25.7	24.9
Mean of NT	43.1	39.3	31.5	23.4	22.0
P value	0.41	0.60	0.88	0.43	0.28
Mean of P	41.0	40.7	33.1	26.7	23.8
Mean of NP	40.5	36.1	29.3	22.4	23.2
P value	0.93	0.18	0.23	0.11	0.16

T : Tillage, NT : No-tillage, M : Manure, F : Fertilizer, P : Pesticide, NP : No-pesticide, P-value : Statistical probability calculated by variance analysis

Table 4. Amount of nitrous oxide emitted

Treatment	Period		Total
	Jul. 16 – Sep. 12	Sep. 13 – Oct. 27	
	g N ha ⁻¹		
TFNP	19.6	27.3	46.9
TFP	41.8	15.8	57.6
NTFNP	35.0	9.8	44.8
NTFP	12.9	27.8	40.7
TMNP	29.9	28.6	58.5
TMP	25.6	20.6	46.2
NTMNP	30.0	12.2	42.2
NTMP	24.8	17.3	42.1
Mean of F	27.3	20.2	47.5
Mean of M	27.6	19.6	47.2
P-value	0.97	0.93	0.96
Mean of T	29.2	23.1	52.3
Mean of NT	25.7	16.8	42.5
P-value	0.61	0.25	0.29
Mean of P	26.3	20.4	46.7
Mean of NP	28.6	19.5	48.1
P-value	0.74	0.88	0.79

T : Tillage, NT : No-tillage, M : Manure, F : Fertilizer, P : Pesticide, NP : No-pesticide, P-value : Statistical probability calculated by variance analysis

いは深さ25 cm までの耕うん層の有無であり、前作の作物根や土壤動物によって形成された孔隙が残存するかどうかという点で大いに異なるはずである。Matsumura & Witjaksono (1999 b) は同試験圃場に設置してあるライシメーターで2年間にわたり土壤浸透水を調べ、耕起区よりも不耕起区で浸透水が多く採取できることを示し、不耕起が土壤の透水性を高めると推察している。このことから、9月16-17日の2日間で133 mmの降雨があった際には、透水性の違いから、不耕起区よりも耕起区土壤の耕うん層において雨水がより長時間停滞したと考えられ、脱窒による N₂O 発生量が多くなったと推察される。

Bremner & Blackmer (1978) や Keeney ら (1979) は農薬散布によって N₂O フラックスが大きくなる現象を認めているが、本実験では明らかではなかった。これは、農薬の散布回数がわずか2回であり、しかもそのうちの1回はダイズ茎葉への散布であったために、土壤に対する影響が小さかったためと考えられる。

以上のように、圃場の管理方法の違いは N₂O 発生量に大きな影響を及ぼさないことが明らかになった。しかし、本実験で測定された N₂O 発生量は、ダイズ作で窒素施用量が少なかったこともあり、国内外の多くの文献(例えば, Arah et al. 1991, Bronson et al. 1992, Granli & Bockman 1994 など)で報告されている量に比較すると 1/10程度であった。したがって、窒素施用量を2倍、3倍に増やした場合にも、同様の結果が得られるかどうかを検証する必要がある。

4. 謝辞

本研究においては、1.5 ha 圃場でのダイズ栽培管理を技術専門官杉田國一氏に担当していただき、また、N₂O ガスの分析は本学農学部波丘地実験実習施設(現 FS センターの FM 多摩丘陵)の楊 宗興氏(現本学農学部助教授)の研究室で行わせていただいた。ここに深謝の意を表します。

引用文献

Arah, J. R. M., K. H. Smith, I. J. Crichton & H. S. Li (1991) Nitrous oxide production and denitrification in Scottish arable soils. *J. Soil Science*, 42: 351-367.

Bremner, J. M. & A. M. Blackmer (1978) Nitrous

oxide: Emission from soils during nitrification of fertilizer nitrogen. *Science*, 199: 295-296.

Bronson, K. F., A. R. Moiser & S. R. Bishnoi (1992) Nitrous oxide emissions in irrigated corn as affected by nitrification inhibitors. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 161-165.

Conrad, R., W. Seiler, & G. Bunse (1983) Factors influencing the loss of nitrogen into the atmosphere as nitrous oxide. *J. Geophys. Res.* 88: 6709-6718.

Goodroad, L. L. & D. R. Keeney (1984): Nitrous oxide emissions from soils during thawing. *Can. J. Soil Sci.*, 64: 187-194.

Granli, T. & O. C. Bockman (1994): Nitrous oxide from agriculture. *Nor. J. Agr. Sci., Sup.*, No. 12, 1-128.

Houghton, J. T. (1994): *Global Warming. The Complete Briefing.* A Lion Book, p. 46-56.

Hutchinson, G. L. & E. A. Brams (1992) Nitric oxide versus nitrous oxide emissions from ammonium ion-amended Bermuda grass pasture. *J. Geophys. Res.*, 97: 9889-9896.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001): *Climate Change 2001 (野内勇・陽捷行訳・解説): 畜産における温室効果ガスの発生制御 (平成14年度総集編)*, 畜産技術協会, p. 1-31.

Keeney, D. R. I. R. Fillery, and G. P. Marx (1979): Effects of temperature on the gaseous nitrogen products of denitrification in a silt loam soil *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43: 1124-1128.

Matthias, A. D., A. M. Blackmer and J. M. Bremner (1980): A simple chamber technique for field measurement of emissions of nitrous oxide from soils. *J. Environ. Qual.*, 9: 251-256.

松村昭治・橋本直樹・細矢伸之・塩谷哲夫 (2000): 作物の乾物生産量および収量に及ぼす耕起および堆肥連用の影響, 東京農工大学農学部農場研究報告17, 1-9.

Matsumura, S and G. Witjaksono (1999 a): Modification of the Cataldo Method for the Determination of Nitrate in Soil Extracts by Potassium Chloride. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45(1), 231-235.

Matsumura and G. Witjaksono (1999 b): Tillage Method and Soil Fertilization effects on Crop

yield and Nitrate Leaching. *Acta Horticulturae*,
506, 193-198.

八木一行 (1991) : 土壤生態系のガス代謝と地球環

境 2. 水田からのメタン発生. *土肥誌*62, 556-
562.

ArticleAcidification of Precipitation in Tottori, Japan^{*1}Hiroshi HARA^{*2} and Yoshiaki KIMURA^{*3}

In order to capture temporal trends of nss-sulfate, nitrate, ammonium, nss-calcium, and hydrogen ions, bulk-sampled weekly data in Tottori on the Japan Sea coast for 1988–1996 are discussed. Annual mean concentrations of all ions including acidity were found to be increasing and the acidity increase was explained by more increases in acids than in bases. Similar trends were discernible for winter and summer seasonal means with more pronounced increasing rate for winter mean. These phenomena would be attributed to long-range transport of pollutants from Asian continent and locally formed nitric acid and/or nitrate in consideration of atmospheric chemistry and monsoon in this region.

Keywords : acidification, acid, base, pH, precipitation, Japan

1. INTRODUCTION

Atmospheric deposition of both actual and potential acidic substances has been one of the leading environmental issues for scientists and policy makers as well as the general public. Extensive studies on precipitation chemistry were undertaken in Europe and North America where the deposition was considered one of the most critical pollution problems. This problem has recently been realized not to be limited to Europe and North America. Emissions of sulfur dioxide, nitrogen oxides, and ammonia that would eventually acidify the environmental ecosystems increase rapidly in Asia, southern Africa and parts of Central and South America (Galloway 1995). Emissions from Asia for 1990 are projected to be double or triple in the next twenty years whereas sulfur dioxide emissions in North America and Europe are expected to decrease until 2020 (Galloway 1995). Emphasis has been placed on the estimation of emissions in Asia (Bhatti et al. 1990, Park and Kim 1997, van Aardenne et al. 1999, Dentener and Crutzen 1994, Wang et al. 1977).

Impacts of increasing emissions in the Asian continent on wet deposition could be detected by a long

-term measurement of precipitation chemistry in Japan that is located at the east end of Asia. Particularly winter precipitation is anticipated to show more marked trends because the winter meteorology is characterized by northwesterly monsoon. Domestic emissions will also affect the precipitation chemistry. Most of the major sources are located on the Pacific Ocean coast of Japan (Fujita et al. 1991). In consideration of the meteorology and source distributions of Japan, precipitation chemistry measurements on the Japan Sea coast are capable of demonstrating temporal trends of continental impacts on the precipitation chemistry in Japan.

In the light of current understanding of atmospheric chemistry, sulfur dioxide and nitrogen dioxide are oxidized predominantly by OH radicals and the overall rate constant for sulfur dioxide oxidation is one order of magnitude smaller than that for nitrogen dioxide oxidation (Schwartz 1989). It is generally accepted that nitrogen dioxide is more rapidly converted to nitric acid than sulfur dioxide to sulfuric acid based on field observations and model calculations and that the long-range transport of nitric acid is thus somewhat less pronounced than that of sulfuric acid (Rodhe et al. 1981).

^{*1} Received Mar. 14, 2003 ; Accepted Dec. 20, 2003

^{*2} Field Science Center, Tokyo University of Agriculture and Technology, Saiwaicho 3-5-8, Fuchu, Tokyo, 183-8509 Japan

^{*3} Tottori Prefectural Institute of Public Health, Matsunamimachi 2, Tottori, 680-0801 Japan

In view of wet and dry deposition mechanism, highly soluble gases like nitric acid and ammonia are efficiently incorporated into water droplets and easily dry deposited on the earth's surface. (Seinfeld and Pandis 1998). However, when nitric acid is associated with atmospheric gaseous ammonia to form ammonium nitrate, this fine particulate matter are not easily scavenged by falling water droplets and could be transported over a long-range than the nitric acid in its original form. In consideration of the above atmospheric processes of sulfur and nitrogen species, precipitation sulfate on the Japan Sea coast is fairly influenced by long-range transported sulfur rather than domestic sulfur species. In contrast, nitrate in Tottori precipitation could be contributed by local and long-distant sources. Nitrate salts would have been formed in the continent and transported to Japan, and nitric acid and nitrate salts, when reacted in Japan with alkaline species, would have resulted from nitrogen oxides emitted from Japanese sources.

Several monitoring networks of precipitation chemistry have been operated in Japan. Japan Environment Agency has developed a nation-wide network since 1983 (Hara et al. 1990, Hara 1993, Hara et al. 1995, Hara 1997). During the monitoring operation, some sites were relocated and the bulk samplers were replaced by wet-only samplers. These changes will limit us to utilize the datasets for long-term trend analysis. Besides the governmental network, prefectural institutes of environmental sciences have their networks, which would offer long-term measurements for such analyses. Among these measurements, precipitation chemistry records for 1988 – 1996 are available for Tottori on the Japan Sea coast where the precipitation is least influenced by domestic emissions (Fig. 1). The data was collected by using bulk sampling technique throughout the survey. An analysis of this dataset for 1988 to 1996 would shed light on the temporal trends of major ion concentrations on the Japan Sea coast.

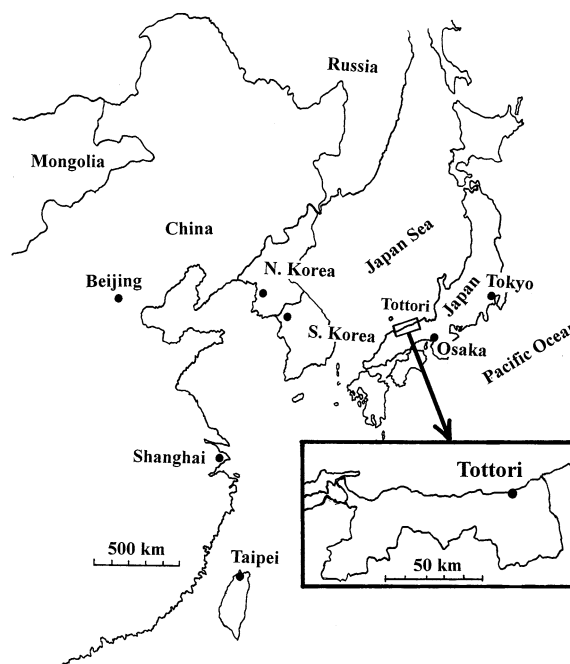


Fig. 1. Location of the sampling station.

2. MEASUREMENT OF PRECIPITATION CHEMISTRY

Tottori City, the prefectural capital, is located in the western coast of the Japan Sea side of Honshu, the Main Island of Japan, has a population of 120,000 with few large sources of industrial emissions (Fig. 1). The samples were collected on a weekly basis at Tottori Prefectural Institute of Public Health, which is located in the suburban area of the city. The Japan Sea coast is located about 3 km to the north and the downtown of the city about 7 km to the south of the institute. The coastal area of the city is comprised of a dune, 12 km wide and 2 km long. The samples were collected on the rooftop of the institute throughout the survey period since 1988. The sampler consists of a collection funnel and a storage bottle with a membrane filter in between, which minimizes evaporation loss of the sample and biologically induced chemical conversion (Hara et al. 1990). Ionic species were determined by using an ion chromatograph and pH and conductivity were measured with pH and conductivity meters, respectively. The data quality was assessed in terms of ion balance check based on the six cations and the three anions: H^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , and Cl^- . The ion balance check

showed an excellent agreement between the cation and anion sums (Fig. 2), which sufficiently meet the ion balance criteria of Japan Environment Agency that the ratio of the cation sum to the anion sum should be in the range of 0.80 and 1.2.

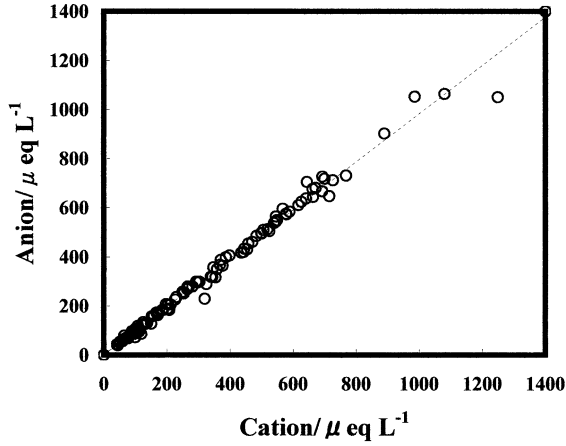


Fig. 2. Ion balance of the precipitation chemistry data.

Because of the acidity is directly related to equivalent concentrations of acids and bases in aqueous solution, equivalent unit is utilized throughout this paper. The concentration is numerically identical with molar concentration for the monovalent ions and doubled for the divalent ions such as sulfate and calcium ions. In the present article, the brackets denote equivalent concentration of the ions in brackets.

Precipitation incorporates seasalt particles containing seawater components including sulfate and calcium ions. Therefore, the seasalt should be discriminated from the non-seasalt ions. Non-seasalt (nss-) fractions of sulfate and calcium ions were usually estimated with eqs. (1) and (2), respectively, on the basis of sodium ion as a tracer of seawater under the assumption that the relative composition of these seasalt ions are conserved throughout the atmospheric processes (Hara *et al.* 1990).

$$[\text{nss-SO}_4^{2-}] = [\text{SO}_4^{2-}] - ([\text{SO}_4^{2-}] / [\text{Na}^+]_{\text{seawater}}) \times [\text{Na}^+] \quad (1),$$

$$[\text{nss-Ca}^{2+}] = [\text{Ca}^{2+}] - ([\text{Ca}^{2+}] / [\text{Na}^+]_{\text{seawater}}) \times [\text{Na}^+] \quad (2).$$

where $([\text{SO}_4^{2-}] / [\text{Na}^+]_{\text{seawater}})$ and $([\text{Ca}^{2+}] / [\text{Na}^+]_{\text{seawater}})$ are the equivalent concentration ratios of seawater components and numerically 0.1206

and 0.04322, respectively.

The weekly measurements are transformed into the volume-weighted monthly means and archived officially in the institute. The volume-weighted mean concentration is calculated by using eq. (3),

$$C_{\text{vwm}} = \sum (C_i R_i) / \sum R_i \quad (3)$$

where C_i and R_i are concentration and rainfall amount for the i^{th} precipitation sample of interest. In the case of hydrogen ion, the volume-weighted concentration is given by eq. (4) because the concentration of hydrogen ion is derived from the pH,

$$[\text{H}^+]_{\text{vwm}} = \sum (10^{-\text{pH}_i} R_i) / \sum R_i \quad (4).$$

And the monthly pH is calculated on the basis of the definition :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]_{\text{vwm}} \quad (5)$$

3. RESULTS

3.1 Temporal Variations of Annual Mean Concentration

Monthly pH was recognized to be decreasing trend during the survey period with fluctuations (Fig. 3). In order to capture distinct feature of the trend, the temporal variation is discussed in terms of volume-weighted annual means of hydrogen ion and related ions.

Figure 4 clearly shows an increasing trend of the hydrogen-ion concentration during the period. In the first year of the survey, 1988, the volume-weighted annual mean hydrogen-ion concentration was $18 \mu\text{eq L}^{-1}$ and was elevated to be almost $30 \mu\text{eq L}^{-1}$ in 1996.

The increasing acidity is due to either an increase in acid concentration or a decrease in base concentration, or both. Major acids and bases in precipitation are generally supposed to be sulfuric and nitric acids, and ammonia and basic calcium salts in the atmosphere, respectively : $[\text{H}^+] = ([\text{H}_2\text{SO}_4] + [\text{HNO}_3]) - ([\text{NH}_3] + [\text{CaCO}_3])$ In the precipitation solution, these acids and bases dissociate into their ionic constituents. The equivalent concentrations of the acids and bases mentioned above are numerically equal to the respective ionic concentration : $[\text{nss-SO}_4^{2-}]$, $[\text{NO}_3^-]$, $[\text{NH}_4^+]$, and $[\text{nss-Ca}^{2+}]$. The resultant acidity, $[\text{H}^+]$, is therefore expected to be obtained by the quantity, $([\text{nss-SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-]) -$

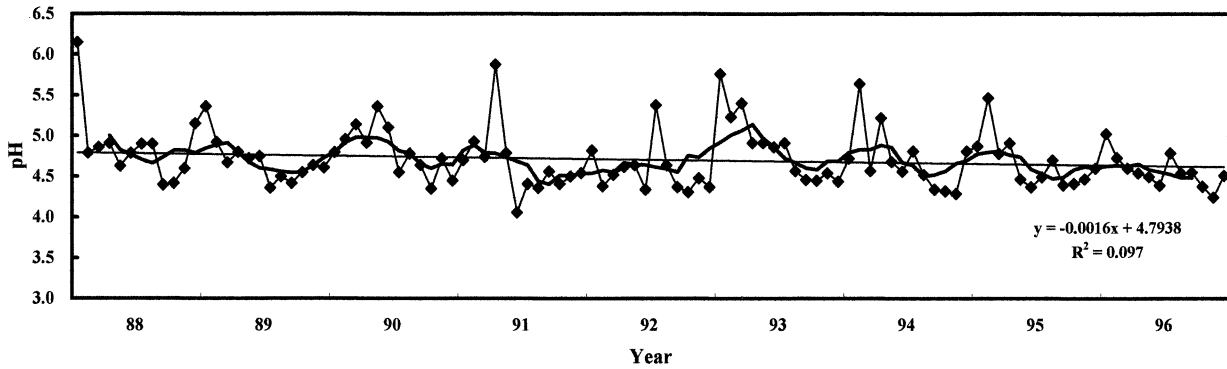


Fig. 3. Monthly mean pH in Tottori for 1988 – 1996. The bold curve and the straight line are a running mean and a linear regression, respectively.

$([NH_4^+] + [nss-Ca^{2+}])$ which is here defined as the acid-base difference. The concentrations of these ions will explain actual acid-base relationships in precipitation.

The annual mean concentrations of nss-sulfate, nitrate, ammonium, and nss-calcium ions were also depicted in Fig.4. Nss-sulfate concentration was higher than any of other four ions by a factor of two during the period. The concentration in the last three years was higher than $55 \mu\text{eq L}^{-1}$ whereas the concentration in the first six years was fluctuating between 40 and $50 \mu\text{eq L}^{-1}$. Nss-sulfate ion concentration actually increased with time.

Among the variation of the five kinds of ions, nitrate and ammonium ions are likely to show steady increases. Regarding to impacts of acid deposition

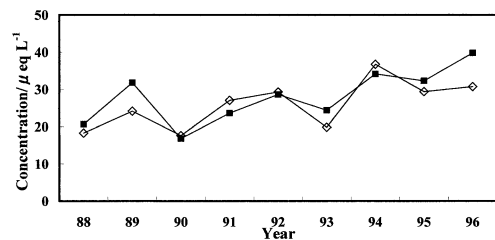


Fig. 5. Annual means of hydrogen ion concentration (\diamond) and the acid-base difference, $([nss-SO_4^{2-}] + [NO_3^-]) - ([NH_4^+] + [nss-Ca^{2+}])$ (\blacksquare).

on ecosystems, ammonium ion is eventually an acidifying substance because this ion is biologically converted to nitric acid after deposition to soil (Van Breemen et al. 1982, Chadwick and Hutten 1991). Figure 4 shows that ammonium ion was increasing together with hydrogen ion, which implies the ecosystem in this area is being acidified over the survey period. Nss-calcium ion was found to be fluctuating during the period although it was elevated in 1995.

The annual concentration of hydrogen ion and the acid-base difference were shown in Fig. 5. These two quantities agreed with each other in terms of a correlation coefficient of 0.801, which further ensured that the temporal trends of the hydrogen ion concentration and the concentration difference considerably overlapped each other within observational uncertainty. This agreement indicates that the acids and the bases were increasing but with a higher increasing rate of acids, which resulted in increasing acidification of the precipitation.

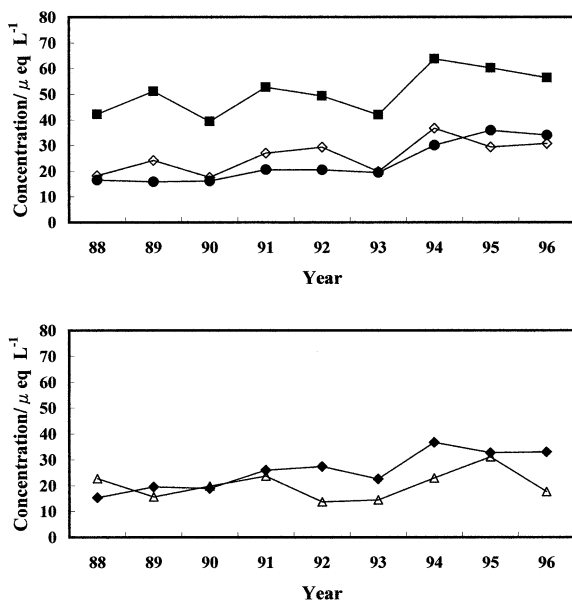


Fig. 4. Annual mean concentrations in Tottori for 1988 – 1996. top : $nss-SO_4^{2-}$; \blacksquare , NO_3^- ; \bullet , H^+ ; \diamond , bottom : NH_4^+ ; \blacklozenge , $nss-Ca^{2+}$; \triangle .

3.2 Temporal trends of summer and winter concentrations

The coastal areas of the Japan Sea are characterized by a northwesterly monsoon in winter months (Whelpdale and Moody 1990). During winter, the prevailing flow provides a transport path off the east coast of the Asian continent to Japan. In summer months, however, the airflow changes coming from the Pacific Ocean. This seasonality strongly suggests air pollutants from the continent could dominate the precipitation chemistry in Tottori in winter. In summer months, however, emissions in industrial areas on the Pacific Ocean coast and local emissions in and around Tottori would dominate the precipitation chemical constituents.

Volume-weighted mean concentrations of major ions in summer (June, July, and August) and winter (December, January, and February) were calculated as illustrated in Fig. 6. Winter concentrations of nss-sulfate were higher than the summer ones and increased during the period whereas the summer concentration seemed to remain fairly constant. Nitrate showed increases both in winter and summer with a larger rate for winter. A very simi-

lar trend was discerned for the ammonium concentration with higher concentration in winter. Nss-calcium ion, however, was found to be largely fluctuating without any appreciable trends. For winter concentrations, the increasing rates for nitrate and ammonium concentrations were considerably higher than that of nss-sulfate ion whereas the concentration levels of these nitrogen species were lower than that of nss-sulfate (Fig. 6). Winter concentration of hydrogen ion increased from $23 \mu\text{eq L}^{-1}$ in 1988 to $38 \mu\text{eq L}^{-1}$ in 1996 while the summer concentration showed a less rapid increase $16 \mu\text{eq L}^{-1}$ in 1988 to $27 \mu\text{eq L}^{-1}$ in 1996. The acid-base difference defined in section 3.1, $([\text{nss-SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-]) - ([\text{NH}_4^+] + [\text{nss-Ca}^{2+}])$ was also increasing for summer and winter periods.

These results taken together imply that all the major acids and bases increased to a larger extent in winter than in summer and that the acid concentrations were more growing than the bases, which resulted in further acidified precipitation in winter.

4. DISCUSSION

4.1 Emissions of sulfur and nitrogen in East Asia

Ionic concentrations generally depend upon emission rates of precursor gases, air concentrations of oxidizing species, and precipitation amounts. These factors will be briefly discussed in connection with the observed trends of precipitation chemistry.

Trends of nss-sulfate and nitrate concentrations in Tottori precipitation would be caused by enhanced emissions of sulfur and nitrogen oxides in East Asia. Emission intensities of sulfur and nitrogen oxides have been reported for selected years as summarized in Table 1 (Bhatti *et al.* 1990, Park and Kim 1997, van Aardenne *et al.* 1999). These estimates were carried out with different methods. Park and Kim (1997) explored total fuel consumption of various economic sectors. The other estimates were projections based on some scenarios to future years.

According to these results, emissions of these gases will be concluded to have been increasing in northeast Asia. The total emission of sulfur dioxide

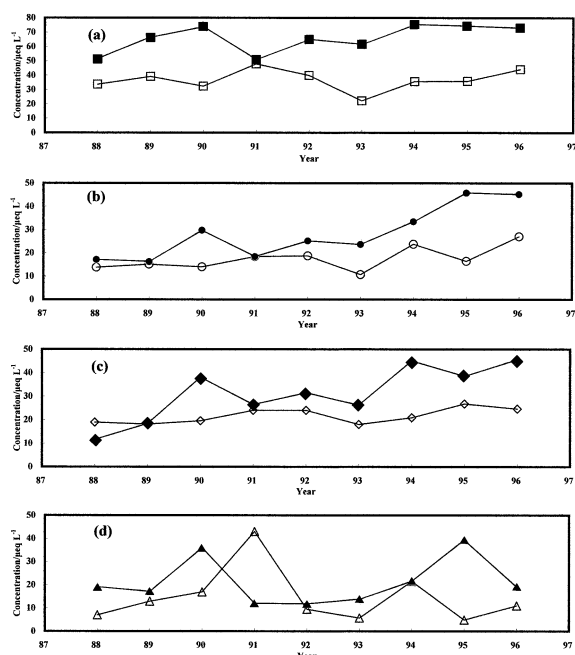


Fig. 6. Summer and winter mean concentration in Tottori for 1988–1996. top: nss-SO₄²⁻ (summer; □, winter; ■), NO₃⁻ (summer; ○, winter; ●), bottom: NH₄⁺ (summer; ◇, winter; ◆), nss-Ca²⁺ (summer; △, winter; ▲)

Table 1. Estimated emissions of SO₂ and NO_x in East Asia in Tgy⁻¹

Country	SO ₂		NO _x		SO ₂		NO _x		NO _x	
	1986	2000	1986	2000	1988	1993	1990	2000	1990	2000
China	18.972	34.036	7.673	15.316	*	*	*	*	8.273	13.719
Japan	*	*	*	*	*	*	*	*	2.468	3.168
North Korea	0.587	0.92			*	*	*	*	0.518	0.914
South Korea	1.224	2.721	0.663	1.302	1.127	1.45	0.422	0.764	0.977	1.995
Authors	Bhatti et al., 1990				Park and Kim, 1997				van Aardenne et al., 1999	

*not estimated.

increases from 1,126,500 ton in 1988 to 1,450,100 ton in 1993 although the increase rate was slowed down after 1990, which was mainly attributed to the gradual replacement of anthracite with town gas in residential and commercial sectors (Park and Kim 1997). On the other hand, nitrogen oxides total emissions increased rapidly from 421,900 ton in 1988 to 763,700 ton in 1993, which corresponds to a linearly increasing rate of 16% per year. They interpreted that this rapid increase was accelerated by the rapid increase in motor vehicles after 1990 (Park and Kim 1997).

Sulfur species emitted from Far East Russia might contribute to give rise to precipitation sulfate in Tottori under some meteorological conditions. Although anthropogenic emissions of sulfur and nitrogen oxides in Asia have been recently studied (Kato and Akimoto 1992, Akimoto and Narita 1994), no convincing emission inventory data for sulfur and nitrogen species are currently available. Estimated emission intensities in some areas adjoining Far East Russia, sulfur emissions from Russian areas do not seem intensive enough, in comparison with those in Korea and Northeastern China, to affect precipitation chemistry in Tottori. In consideration of these factors, significant contributions from Russian sources are not plausible for the present increasing trend.

These increasing emission trends of sulfur and nitrogen oxides in East Asia could have contributed to the observed increasing concentrations of nss-sulfate and nitrate in Tottori precipitation.

Ammonium in precipitation is usually derived from atmospheric ammonia reacting with sulfuric

and nitric acids to form corresponding ammonium salts. Ammonia is injected into the atmosphere from anthropogenic and natural sources (Dentener and Crutzen 1994).

4.2 Air quality in Tottori

Air quality in Tottori for the corresponding period was compiled in terms of the annual mean air concentrations of sulfur dioxide, nitrogen oxide, nitrogen dioxide, and oxidants. These gases were all monitored at the identical station and the annual mean concentration was the arithmetic mean concentrations. Figure 7 shows an increasing trend of oxidants from 21 ppb in 1988 to 36 ppb in 1996 during the period. The pollutants other than oxidants remained rather constant. Also annual mean concentrations of carbon monoxide were almost constant to be 400 to 500 ppb whereas non-methane hydrocarbons decreased with some fluctuations from 240 ppb in 1988 to 150 ppb in 1996.

In terms of seasonal means, some pollutants demonstrated more increasing trends. Oxidants were recognized to be increasing in both summer and

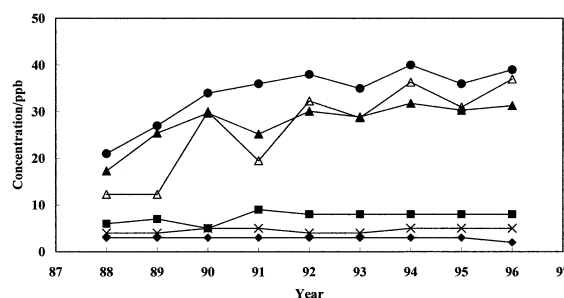


Fig. 7. Annual mean air concentrations of air pollutants in Tottori for 1988 - 1996.

oxidant ; ●, NO₂ ; ■, NO ; ◆, SO₂ (X) together with the summer and winter means of oxidant (summer ; △, winter ; ▲).

winter months as depicted also in Fig. 7. Figure 8 shows that winter mean nitrogen dioxide, nearly twice as high as the summer means, grew steadily from 8.6 ppb in 1988 to 13 ppb in 1996. However, its annual and summer means remained nearly constant. Sulfur dioxide illustrated no temporal trends for these means.

The formation rate of nitric acid is proportional to the OH radical and the nitrogen dioxide concentration. The OH concentration, which is not monitored in Tottori, will be supposed to be fairly proportional to the oxidant concentration. The increasing trend of oxidant and stable nitrogen dioxide strongly suggests that increased production of nitric acid around Tottori although no measurements were made for nitric acid during the winter months in this period.

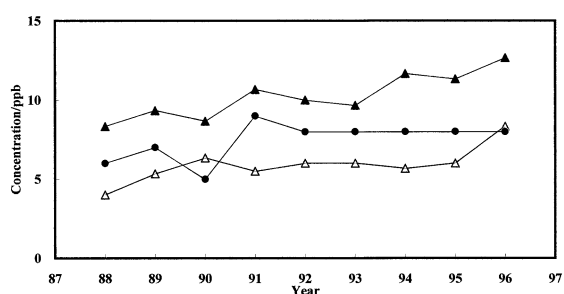


Fig. 8. Annual, summer, and winter mean concentration of NO₂ in Tottori for 1988 – 1996. annual ; ●, summer ; △, winter ; ▲.

4.3 Precipitation amounts in Tottori

Annual precipitation amounts in Tottori was fluctuating with maxima in 1990 and 1995 (Fig. 9). Some increase, however, might be captured during 1992 – 1995, which would result in decreasing concentrations. Despite this increase in precipitation amounts, concentrations of the major ions showed an upward trend. Therefore, the precipitation amount will not have been involved in the temporal

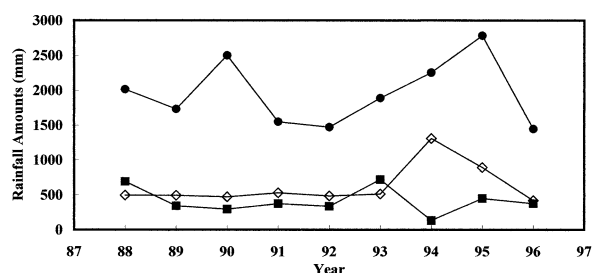


Fig. 9. Annual, summer, and winter mean precipitation amounts in Tottori for 1988 – 1996. annual ; ●, summer ; ◇, winter ; ■.

trends in concentration that emerged.

4.4 Atmospheric Chemistry of the temporal trend

Precipitation chemistry in Japan is controlled by both long-range transported and locally emitted air pollutants (Ishikawa *et al.* 1998). In terms of the potential impacts of emission sources in the Asian continent on wet deposition in Japan, the seasonal meteorology suggested that winter precipitation would be demonstrated to be impacted by long-range transported acidic substances from the continent.

Considerations of the atmospheric chemistry and the meteorology of Japan would lead us to interpret that the winter nss-sulfate was mostly dominated by increasing emissions of sulfur dioxide in the continent and that the summer month nss-sulfate was associated with domestic sulfur dioxide emissions.

For the nitrate variation, a similar discussion will apply to wintertime nitrate concentrations. In addition, local formation of nitrate will be plausible to contribute to the precipitation chemistry because increasing photochemical oxidant in Tottori strongly suggests that active oxidizing species will enhance local production of nitrate. Growing concentrations of nitrate in summer would be attributed to locally formed nitrate species due to rising levels of oxidant as observed at the station.

In the light of the current understanding of atmospheric processes, precursor emission trends, and observed trends of chemical species in Tottori, sulfuric and nitric acid concentrations impacting Tottori precipitation are supposed to have increased during the period. Sulfuric and nitric acids of increasing concentrations are likely to more readily incorporate ammonia, a typical basic gas in the atmosphere to result in increasing concentration of precipitation ammonium.

5. CONCLUSION

During the period of 1988 – 1996, volume-weighted annual mean acidity was found to be increasing in Tottori on the Japan Sea coast. This increasing trend was enhanced for winter months in comparison with summer month acidity. The acid-

ity was explained due to increasing sulfuric and nitric acids. Acid-neutralizing basic ammonia also increased during the period but lower rate than that of acids.

In terms of seasonal meteorology of the region covering Japan Sea side of Japan, wintertime northwesterly monsoon in East Asia will be favorable for the contribution of continental emissions of acid precursors to the increasing concentrations in Totori. Increasing trends of wintertime oxidants and nitrogen dioxide in the city suggested local formation of nitric acid to elevate precipitation nitrate concentrations.

REFERENCES

- Van Aardenne, J. A. Carmichael, G. R. Levy II, H. Streets, D. G. and Hordijk, L. (1999) Anthropogenic NO_x emissions in Asia in the period 1990 – 2000. *Atmospheric Environment* 33 : 633–646.
- Akimoto, H., and Narita, H. (1994) Distribution of SO₂ and NO_x, and CO₂ Emission from Fuel Combustion and Industrial Activities in Asia with 1° × 1° Resolution. *Atmospheric Environment* 28 : 213–225.
- Bhatti, N., Streets, D. G. and Foell, W. K. (1991) Acid Rain in Asia. *Environmental Management* 16 ; 541–562.
- Chadwick, M. J., and Hutten, M. (1991) “Acid Depositions in Europe : Environmental Effects : control strategies and policy options”. pp. 52–56, Stockholm Environment Institute.
- Dentener, F. J., and Crutzen P. J. (1994) A Three-Dimensional Model of the Global Ammonia Cycle. *Journal of Atmospheric Chemistry* 19 ; 331–369.
- Fujita, S. Ichikawa, Y. Kawaratani, R. K. and Tonooka Y. (1991) Preliminary inventory of sulfur dioxide emissions in East Asia. *Atmospheric Environment* 25 A ; 1409–1411.
- Galloway, J. N. (1995) Acid deposition : perspectives in time and space. *Water, Air and Soil Pollution* 85 ; 15–24.
- Hara, H., Ito, E. Katou, T. Kitamura, Y. Komeiji, T. Oohara, M. Okita, T. Sekiguchi, K. Taguchi, K. Tamaki, M. Yamanaka, Y. and Yoshimura, K. (1990) Analysis of Two-year Results of Acid Precipitation Survey within Japan. *Bulletin of Chemical Society of Japan* 63 ; 2691–2697.
- Hara, H. (1993) Acid deposition chemistry in Japan. *Bull. Inst. Public Health* 42 ; 426–437.
- Hara, H., Kitamura, M. Mori, A. Noguchi, I. Oizumi, T. Seto, S. Takeuchi, K. and Deguchi, T. (1995) Precipitation Chemistry in Japan 1989 – 1993. *Water, Air and Soil Pollution* 85 ; 2307–2312.
- Hara, H. (1997) Precipitation chemistry in Japan. *Nippon Kagaku Kaishi* 733–748.
- Ishikawa, Y. Yoshimura, K. Mori, A. and Hara, H. (1998) High Sulfate and Nitrate Concentrations in Precipitation at Nagasaki Impacted by Long-Distant and Local Sources. *Atmospheric Environment* 32 ; 2939–2944.
- Kato, N., and H. Akimoto (1992) Anthropogenic Emissions of SO₂ and NO_x in Asia : Emission Inventories. *Atmospheric Environment* 26 A ; 2997–3006.
- Park, S. U., and Kim, C. H. (1997) Interannual trend of the anthropogenic emissions of SO₂ and NO_x in South Korea. *Proceedings of the International Workshop on Unification of Monitoring Protocol of Acid Deposition and Standardization of Emission Inventory*. pp. 98–123, March 1997.
- Rodhe, H., Crutzen, P. and Vanderpol, A. (1981) Formation of sulfuric acid and nitric acid in the atmosphere during long range transport. *Tellus* 33 ; 132–139.
- Schwartz, S. E. (1989) Acid deposition : unraveling a regional phenomenon. *Science*, 243 ; 753 – 763.
- Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (1998) Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change. pp. 958–1074, Wiley-Interscience, New York.
- Van Breemen, N., Burrough, P. A. Velthorst, E. J. van Dobben, H. F. de Wit, T. Ridder, T. B. and Reijnders, H. F. (1982) Soil acidification from atmospheric ammonia sulphate in forest canopy throughfall. *Nature* 299 ; 548–550.
- Wang, W. Xu, K. Pang, Y. and Lu, Y. (1997) In Proceedings of the International Workshop on Unification of Monitoring Protocol of Acid Deposition and Standardization of Emission Inventory. pp. 134–144., March 1997, Tsukuba, Japan.

Whelpdale, D. M., and Moody, J. L. (1990) Large-scale meteorological regions and transport processes. *In* The Long-Range Atmospheric

Transport of Natural and Contaminant Sources, Knap, A. H. (ed.), Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, pp. 3–58.

和文要旨

鳥取における降水の酸性化

原 宏・木村 義明

酸性雨に関する主要なイオン成分、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 nss-Ca^{2+} 及び H^+ の濃度の経年変化傾向を把握するため、日本海側にある鳥取における1988—1996年の週ごとに測定された降水のデータを考察した。水素イオンを含めこれら全てのイオン成分の濃度は増加しており、水素イオン濃度の増加は酸の方が塩基よりも大きな速度で増加しているため

と説明できた。冬期と夏期の季節平均についても同様な増加傾向が表れており、特に冬期の増加が顕著であった。地域で季節的に卓越する気象を考慮すると、これらの現象はアジア大陸からの長距離輸送される汚染物質と、地域的に生成する硝酸あるいは硝酸塩に起因すると思われる。

論文

給食調理残渣飼料の給与が肥育豚の発育と肉質性状に及ぼす影響^{*1}

宮澤 賢司^{*2}・石田 幸一^{*2}・平田 哲兵^{*2}・田中 佑一^{*2}・相 俊彦^{*2}・富永麻衣子^{*2}
 横山 倫子^{*3}・牧野茂三郎^{*3}・石井 憲^{*3}・上野 啓介^{*3}・神田 修平^{*2}・板橋 久雄^{*2}

Effects of Feeding Food Waste Products
 on the Growth and Meat Quality of Growing-Finishing Pigs^{*1}

Kenji MIYAZAWA^{*2}, Koichi ISHIDA^{*2}, Teppei HIRATA^{*2}, Yuiti TANAKA^{*2}, Toshihiko AI^{*2},
 Maiko TOMINAGA^{*2}, Michiko YOKOYAMA^{*3}, Mosaburo MAKINO^{*3}, Ken ISHII^{*3}, Keisuke UENO^{*3}
 Shuhei KANDA and Hisao ITABASHI^{*2}

The dried powder materials were made from food waste of cooking center, and were analyzed for chemical composition and fed to growing pigs as substitute for feed. Food waste was dried by adding rice bran for 4 hr at about 80°C. Treated materials contained 87% dry matter, 21% crude protein, and 27% neutral detergent fiber. In growth experiment, six 'Tokyo-X' pigs were used, three of them were fed control formula feed, and the others were fed 80% formula feed + 20% treated food waste materials. They were fed equal amounts of feed, and growth experiment was lasted until 110 kg of body weight. The daily gains during the experiment were 0.76 kg in both groups. There were no significant differences in dressing percentage, backfat thickness, and other meat characteristics between both groups. These results suggest that treated food waste materials may be utilized in swine diets when they were substituted in about 20% of formula feed.

Keywords : food waste products, pig, meat quality

給食調理野菜残渣を乾燥粉末化し、その主要成分を分析するとともに、肥育豚の飼料に添加し、豚の発育と肉質性状に及ぼす影響を検討した。給食調理残渣に米ヌカを加え、約80°Cで4時間攪拌乾燥処理した。処理物の乾物割合は約87%、粗タンパク質は約21%、総繊維（中性デタージェント繊維）は約27%であった。肥育試験には「トウキョウ X」豚6頭を供試し、対照区の3頭には通常の肥育用配合飼料を給与し、試験区以外の3頭にはその配合飼料80%+給食残渣処理物20%を給与した。飼料給与量は両区とも同量とし、体重が110 kgになるまで飼養試験を行った。試験期間における1日当たり増体量は、両区とも0.76 kgであった。枝肉歩留り、ロース芯断面積、背脂肪厚、その他の肉質性状も両区間に差は認められなかった。官能検査の結果も両区間でほぼ等しかった。以上より、給食残渣処理物は乾物割合で20%程度の代替であれば、肥育豚の飼料として利用できることが明らかになった。

キーワード：給食残渣飼料，肥育豚，肉質

^{*1} Received Nov. 25, 2003 ; Accepted Jan. 13, 2004

^{*2} 東京農工大学農学部附属フィールドサイエンス・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

^{*3} 伊藤忠飼料研究所 〒325-0101栃木県黒磯市青木 : Research Laboratory, C-Itoh Feed Mills Co. Ltd., Kuroiso, Tochigi, 325-0101, Japan

1. はじめに

我が国では、家畜飼料の大部分は海外に依存しており、これは、飼料価格の変動や国際的な需要動向などの影響を直接受けるので、畜産経営の不安定要因のひとつになっている。一方、食品廃棄物は、食品製造業から生じ産業廃棄物として扱われているものが年間で約340万tあり、食品流通業や外食産業などから生じ一般廃棄物とされているものが約600万tある。この他に家庭などからの一般廃棄物が約1,000万tあり、併せて約2,000万tの膨大な量になっている(1996年度)。これらのほとんどは、焼却処分されているのが現状であるが、環境への影響が問題となっており、また、「食品リサイクル法」が制定され、食品残渣を家畜の飼料原料や肥料として再利用していくことが重要になっている。食品廃棄物の飼料化では、国内では熱風乾燥、油温脱水、高温発酵乾燥など(入江ら 1990, 阿部ら 2000, 渡辺ら 2001)さまざまな利用方法が確立されつつあり、海外でも各種の方法により、飼料化の取り組みがなされている(Myer et al. 1999, Westendorf et al. 1998)。

そこで、東京農工大学農学部附属フィールドサイエンス(FS)センターでは、府中市の協力で給食調理残渣の飼料化に関する研究を開始した。今回の実験では、給食残渣処理物の飼料価値を調べるとともに肥育豚を用いた給与試験を行い、肥育豚の発育および産肉性に及ぼす影響について検討した。また、豚肉の官能試験を実施し、給食残渣飼料が食味に及ぼす影響についても調査した。

2. 材料および方法

2.1 給食残渣の飼料化処理と成分分析

供試材料として、府中市の給食センターよりFSセンターに供給された新鮮厨房残渣を用いた。本残渣はすべて野菜由来であり、動物性の残渣は含めないようにした。これを生ゴミ飼料化処理装置(日立湘南電子製 ED-250型)に1日約150kg投入した。これに、水分調整剤として米ヌカを約100kg加え、高温発酵菌(バチロンZ)を3g添加し十分攪拌後、灯油バーナーで約80℃で約4時間攪拌乾燥した。翌2日目には、1日目で製造された粉末製品約120kgのうち約30kgを処理装置より取り出し、残りを米ヌカの代わりの水分調整剤として用い、1日目と同様の処理を施した。3日目も2日目と同様に

前日の粉末製品のうち約30kgを取り出し、残りを水分調整剤として用いた。4日目以降は粉末製品がやや褐色化し、品質の良い粉末製品が得られなかったので、生ゴミ処理装置に残っている粉末製品をすべて取り出し、1日目と同様の処理を行い、以後は繰り返した。これらの処理の概要をFig. 1に示した。今回の実験では1日目に取り出した粉末製品の成分を分析し、豚の給与飼料の一部として用いた。

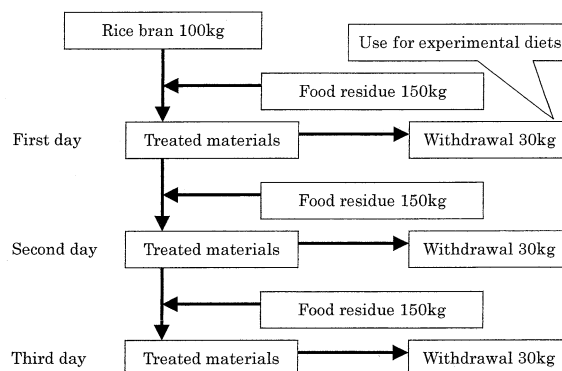


Fig. 1. Scheme for the treatment of inedible waste from cooking center

供試粉末製品を粉碎して1mm目のフルイに通し、乾物(DM)、中性デタージェント繊維(NDF)、粗タンパク質(CP)を常法(石橋 2000)により測定した。

2.2 供試動物および飼養管理

供試動物には肥育豚6頭(トウキョウX, 平均65日齢, 平均体重32.5kg)を用いた。これを対照区3頭, 試験区3頭に分け、それぞれ群飼した。雌雄の構成は、対照区, 試験区ともに、去勢雄1頭, 雌2頭とした。畜舎はコンクリート床豚房(3m×3m)が並列するFSセンター内開放型豚舎を用い、2つの豚房に3頭ずつ収容し、敷料にはオガクズを用いた。飲水は自由摂取とした。飼料としては、対照区には肥育用配合飼料(前期子豚用, TDN 78%, CP 16%, 後期肥育用, TDN 75.5%, CP 15%, 伊藤忠飼料)のみを給与し、試験区には同配合飼料80%+生ゴミ飼料20%の割合で混合したものを対照区と同量給与した。飼料給与量は、日本飼養標準・豚(農林水産技術会議事務局 1998)により決定した。肥育期間は、出荷体重である110kgになるまでとした。

2.3 発育成績および肉質検査

毎週1回体重を測定して1日当たり増体量(DG)を算出するとともに、飼料摂取量を測定した。また、DGおよび飼料摂取量から飼料要求率を算出した。体重が110kgに到達した個体を半日絶

Table 1. Chemical composition of treated inedible waste from cooking center

	First day	Second day	Third day
Dry matter (%)	87.9±0.6*	85.6±2.7	86.7±0.9
Crude protein (%)	21.3±4.3	20.3±0.8	19.9±0.6
Neutral detergent fiber (%)	26.5±3.1	26.5±1.8	25.9±0.5

*Mean ± SD

食させたあと、放血屠殺し、温屠体重量、枝肉歩留、第11胸椎部の背脂肪厚とロース芯断面積を測定した。第11胸椎部から第2腰椎部の肩ロースより試料を3点採取し、肉質性状を調べた。肉質性状は一般成分（水分、粗タンパク質、粗脂肪、粗灰分）、遊離アミノ酸濃度、脂肪の脂肪酸組成と融点などを測定した。遊離アミノ酸測定では、供試肉をミンチし、これに2倍量の5%スルホサリチル酸を添加しホモジナイズ後、遠心分離を数度繰り返して、上澄液をメンブランフィルター処理したものを分析試料とした。分析は高速アミノ酸自動分析計（日立L-8500型）により行った。脂肪酸組成は、ミンチ試料より抽出した脂肪を2%硫酸—メタノール溶液によりメチルエステル化し、脂肪酸メチルエステルをヘキササンにより回収し、フィルターでろ過後、ガスクロマトグラフ（島津GC-17A型）により分析した。肉色および脂肪色は、カラーレーダー（MINOLTA CR-13型）により測定した。その他の測定は常法により行った。

官能検査は唐沢ら（1994）の方法に従い実施した。供試肉として、第11胸椎から第2腰椎までのロース芯を用い、手切りで厚さ2~3mmにスライスした後、肉の重量の約2倍量の2%食塩水に1時間浸透した。その後、水を切り、表面の水分をろ紙で軽く除去し、ホットプレートを用い、200℃で約1分間焦げ目が見えない程度に加熱し、官能検査に供試した。調理済みの試料をランダムに配置し、「テクスチャー（食感）」、「軟らかさ」、「多汁性」、「におい」、「肉の味」、「総合」の6項目について5段階評点法で行った。パネラーは農学部附属FSセンターおよび生物生産学科の教官および学生で、合計20名であった。

得られたデータの統計解析は、処理区間の有意差の有無をt検定法により5%の水準で行った。

3. 結果および考察

3.1 給食調理残渣処理物の成分

給食調理残渣処理物の各成分の分析結果を Table

1に示した。DMは処理1日目では87.9%、処理2日目では85.6%、処理3日目では86.7%と大きな変動を示さなかった。CPの割合は20~21%で、他の報告（橋本ら 2000、佐伯ら 2001）によって示された値より、やや高かったが、これは水分調整剤として米ヌカを混合したためと考えられる。NDFの割合も26~27%で、安定した値であった。これらは、給食調理残渣がすべて野菜由来のものであり、その組成が比較的安定していたためと考えられる。

3.2 肥育豚の発育成績

給食調理残渣処理物を混合した試験区の飼料の嗜好性は対照区と比較して遜色なく良好であり、試験期間を通じて下痢などは認められなかった。

肥育豚の体重の推移、DGおよび飼料要求率を Fig. 2および Table 2に示した。体重は対照区、試験区ともにほぼ同様に推移し、肥育期間を通して増体速度に大きな変動はみられなかった。全試験期間におけるDGは、対照区では0.75kg、試験区では0.76kgであり、両区間で有意差は認められなかった。肥育後期の23週齢付近では、DGの変動がやや大きかったが、これは暑熱による採食量の低下

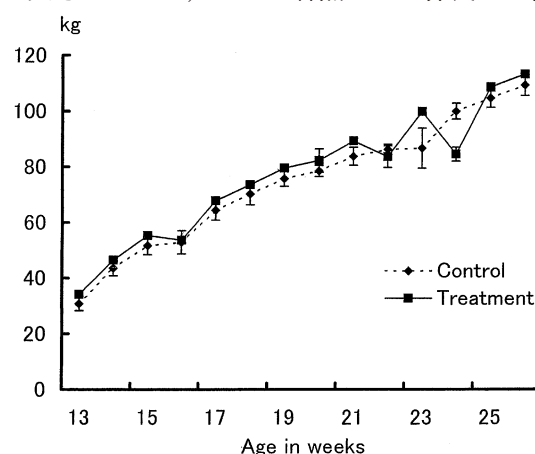


Fig. 2. Change in body weight of pigs

Table 2. Daily gain and feed conversion rate

	Control	Treatment
Daily gain (kg/day)	0.75±0.09*	0.76±0.03
Feed conversion	3.4±0.35	3.4±0.08

*Mean ± SD

が主な原因と考えられる。トウキョウ X 豚における一般的な DG の値は、去勢雄で約 820 g であり、雌で約 780 g であると報告されている (坂田 1998)。本実験で供試した豚の DG の値は、これよりもやや低かった。トウキョウ X 豚の肥育では指定配合飼料が推奨されているが、これは、通常の肥育用飼料に比べ大麦の含有量が 22% と多く、嗜好性がすぐれているので高い DG になると考えられる。

全試験期間における飼料要求率は、対照区が 3.44、試験区が 3.36 とほぼ同じ値となった。豚の肥育における飼料要求率は 3.1 が目標値とされているが (農林水産技術会議事務局 1998)、今回の肥育試験では両区ともこの値よりもやや高かった。

枝肉の測定結果を Table 3 に示した。枝肉重量の平均は、対照区で 76.3 kg、試験区で 80.2 kg であり、両区間で有意差は認められなかった。枝肉歩留は対照区が 68.1%、試験区が 70.6% であり、有意差は認められなかった。ロース芯断面積は、対照区が 34.8 cm²、試験区が 33.6 cm² とほぼ等しい数値を示した。トウキョウ X 豚におけるロース芯断面積の一般的な値は 25~30 cm² であり (坂田 1998)、対照区、試験区ともにこの値よりも大きな値を示した。背脂肪厚は対照区が 29.0 mm、試験区が 30.7 mm となり、試験区の方が 1.7 mm 厚かったが、有意差は認められなかった。これらの結果は豚に食品残渣処理物を給与して肥育試験を行った他の報告 (入江ら 1990, 渡辺ら 2001, 矢後ら 1998) とほぼ同様であった。今回の実験では両区間で有意差が認められなかったものの、枝肉重量、枝肉歩留および背脂肪厚が対照区より試験区で高い傾向を示したことから、給食残渣含有飼料では脂肪がつきやすくなると考えられた。渡辺ら (2001) の報告によると、温風乾燥処理した厨房残渣を配合飼料原料 (大麦) と代替したときに、代替率を上げると背脂肪厚が増加する傾向が認められる。このように、試験区の豚に脂肪がつきやすい原因のひとつとしては、食品残渣飼料を製造する際に水分調整剤として米ヌカ

Table 3. Characteristics of dressed carcass

	Control	Treatment
Weight (kg)	76.3 ± 5.79*	80.2 ± 5.06
Yield (%)	68.1 ± 5.73	70.6 ± 3.44
Rib eye area (cm ²)	34.8 ± 13.1	33.6 ± 5.50
Thickness of backfat (mm)	29.0 ± 4.36	30.7 ± 6.03

*Mean ± SD

などを使用したことが挙げられる。米ヌカの脂質は約 17% であり、このため、食品残渣飼料の脂質含量は対照区の飼料よりも高まり、脂質の体内蓄積を増加させたと考えられる。

ロース芯の肉質性状を Table 4~6 に示した。

Table 4. Chemical composition and color value of rib eye

	Control	Treatment
Chemical composition (%)		
Water	70.1 ± 2.4*	71.5 ± 1.0
Crude protein	23.4 ± 0.8	23.3 ± 0.2
Crude fat	4.7 ± 3.6	3.8 ± 1.2
Crude ash	1.5 ± 0.2	1.4 ± 0.1
Evaluation of meat		
Melting point (°C)	37.6 ± 0.6	37.5 ± 1.7
pH	5.5 ± 0.0	5.6 ± 0.1
Drip (%)	28.6 ± 2.4	28.0 ± 2.1
Color of meat		
L value	46.6 ± 2.9	46.9 ± 1.9
a value	8.3 ± 0.4	7.1 ± 0.9
b value	9.2 ± 1.2	9.0 ± 0.6
Color of fat		
L value	74.3 ± 2.7	75.5 ± 1.7
a value	1.8 ± 0.5	0.9 ± 0.2
b value	6.1 ± 0.7	5.0 ± 0.2

*Mean ± SD

Table 5. Free amino acid and peptide concentrations in rib eye (mg/100 g)

	Control		Treatment	
Taurine	47.33 ±	5.37*	44.96 ±	0.76
Aspartic acid	3.26 ±	2.05	2.46 ±	1.87
Threonine	9.90 ±	4.62	8.66 ±	3.88
Serine	15.17 ±	5.30	9.30 ±	3.19
Glutamic acid	27.29 ±	9.13	23.20 ±	11.98
Glutamine	44.68 ±	3.23	49.50 ±	13.50
Glycine	19.42 ±	3.30	19.66 ±	8.65
Alanine	39.98 ±	10.12	32.21 ±	8.65
Isoleucine	9.69 ±	2.90	7.90 ±	3.65
Leucine	18.80 ±	6.00	15.13 ±	6.91
Tyrosine	12.84 ±	4.15	10.17 ±	4.35
Phenylalanine	11.47 ±	3.47	12.05 ±	4.35
β-Alanine	5.90 ±	1.84	4.81 ±	0.77
Lysine	14.36 ±	5.71	11.91 ±	5.57
Histidine	4.98 ±	1.33	4.46 ±	2.09
Carnosine	782.88 ±	113.25	806.70 ±	223.11
Anserine	35.93 ±	4.57	35.10 ±	5.73
Arginine	16.03 ±	5.35	13.57 ±	4.97
Proline	28.30 ±	5.62	28.54 ±	12.44
γ-aminobutyric acid	0.42 ±	0.15	11.83 ±	20.07

*Mean ± SD

Table 6. Fatty acid composition of fat in rib eye (%)

Fatty acid*	Control	Treatment
C 10 : 0	0.17 ± 0.06**	0.20 ± 0.00
C 12 : 0	0.23 ± 0.06	0.23 ± 0.06
C 14 : 0	2.03 ± 0.06	2.00 ± 0.10
C 16 : 0	26.03 ± 1.33	26.20 ± 0.50
C 16 : 1	2.23 ± 0.75	1.97 ± 0.55
C 18 : 0	13.90 ± 1.31	14.80 ± 1.04
C 18 : 1	38.70 ± 3.41	38.17 ± 4.10
C 18 : 2	13.37 ± 5.49	13.47 ± 3.98
C 18 : 3	0.77 ± 0.29	0.73 ± 0.21
C 20 : 0	0.10 ± 0.00	0.15 ± 0.06
C 20 : 1	0.50 ± 0.00	0.50 ± 0.00
C 20 : 4	0.23 ± 0.06	0.83 ± 1.01
Saturated	43.23 ± 2.15	44.17 ± 1.42
Unsaturated	56.77 ± 2.15	55.83 ± 1.42
Saturated/Unsaturated	0.76 ± 0.07	0.79 ± 0.05

*Expressed as number of carbon : number of double bonds.

**Mean ± SD

ロース芯の対照区と試験区における水分は、それぞれ70.1%, 71.5%, 粗蛋白質は23.4%, 23.3%, 粗脂肪は4.7%, 3.8%, 粗灰分は1.5%, 1.4%となり、いずれの項目においても両区間で有意差は認められなかった。また、融点, pH, ドリップ量および肉色と脂肪色についても区間の差は認められなかった (Table 4)。食味に影響するとされる遊離アミノ酸のなかで、セリン, グルタミン酸, アラニン, ロイシン, リジンなどは対照区の方がやや多かったが、グルタミンやペプチドであるカルノシンは試験区の方がやや多かった。しかし、これらの濃度に両区間で有意差は認められなかった (Table 5)。両区を通じて、脂肪の脂肪酸の中でC 18 : 1 (オレイン酸) が最も多く、これに次いでC 16 : 0 (パルミチン酸) が多かった。脂肪酸組成は両区間で有意差は認められなかった。飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸の割合にも区間差は認められなかった

(Table 6)。一般に、厨房残渣などの食品残渣を豚用飼料と用いると軟脂になり易いことが報告されている (入江ら 1986, 大本ら 1980)。中西ら (2000) は、慣用の肥育飼料の80~90%をパン屑・豆腐粕で代替した飼料を豚に給与した場合、枝肉脂肪のC 18 : 2 (リノール酸) とC 18 : 3 (リノレン酸) の割合が増加するとしている。これらは融点が高い不飽和脂肪酸の割合が多くなるためであり、食味低下の一因とされている。今回の実験では給食残渣飼料を20%代替利用したが、不飽和脂肪酸の比率の上昇や、それによる融点の低下は認められなかった。

官能試験の結果を Table 7 に示した。官能試験におけるテクスチャー, 軟らかさ, 多汁性, におい, 肉の味のどの調査項目においても両区間で有意差は認められなかった。給食残渣飼料には植物性蛋白質および脂質の含有量が多いので、それを添加することにより、脂肪の食味に悪影響がみられると予想したが、今回の官能検査ではそのような影響は認められなかった。ロース芯の肉質性状において、不飽和脂肪酸の比率が対照区と試験区でほとんど差がなかったことが理由として考えられる。

以上のことから、肥育飼料に給食残渣処理物を20%混合して給与した結果、対照区と比較して発育成績, 枝肉成績, 肉質性状および食味においてほとんど差がみられなかったことから、乾物20%程度の代替であれば、給食残渣処理物を豚の肥育飼料として利用できることが明らかになった。

謝 辞

本研究において、トウキョウ X 豚の導入やその飼養に際しては東京都畜産試験場の久保光行部長, 合田之久部長らに格別のご配慮とご指導をいただいた。また、官能検査の実施にあたっては、東京都立立川短期大学の高崎禎子助教授に多くのご教示をいただいた。肥育豚の屠殺解体では、ニホンカイ

Table 7. Sensory evaluation of meat

Characteristics of meat	Degree of assessment		Control	Treatment
Texture	1 (Bad)	→ 5 (Good)	3.2 ± 0.50*	3.6 ± 0.13
Tenderness	1 (Tough)	→ 5 (Tender)	3.3 ± 0.41	3.4 ± 0.05
Succulent	1 (Dry)	→ 5 (Succulence)	3.1 ± 0.43	3.4 ± 0.05
Smell	1 (Bad)	→ 5 (Good)	3.4 ± 0.23	3.2 ± 0.09
Taste	1 (Bad)	→ 5 (Good)	3.4 ± 0.26	3.6 ± 0.09
General assessment	1 (Tasteless)	→ 5 (Taste)	3.4 ± 0.40	3.7 ± 0.06

*Mean ± SD

ハツミートの山口和雄氏をはじめ関係各位のご協力をいただいた。これらの諸氏に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 阿部亮 (2000) 未利用資源の活用. 未利用有機物資源の飼料利用ハンドブック, 阿部亮・吉田宣夫・今井明夫・山本英雄編, 315 pp, サイエンスフォーラム, 東京: 23-27.
- 石橋晃 (2000) 一般成分の分析. 新編動物栄養試験法, 石橋晃編, 420 pp, 養賢堂, 東京: 80-90.
- 橋元康司・米持千里・花積三千人・菅影成・高木久雄・亀岡暄一 (2000) 食品残渣処理物の飼料特性と肥育豚用飼料としての利用. 関東畜産学会報, 50: 22-29.
- 入江正和・西村和彦 (1986) 豚の脂肪の性状に及ぼす残飯給与と屠殺月齢, 蓄積部位の影響. 日本畜産学会報, 57(8): 642-648.
- 入江正和・亀岡俊則・埜元道男・因野要一 (1990) 油温脱水処理した食品残渣 (フライドミール) の豚における栄養価. 日本養豚学会誌, 27(1): 50-52.
- 唐沢恵子・高橋禎子・渋谷立人・青木圭・伊藤米人・内田哲二・北村雅彦・條々和美 (1994). 豚肉の保存, 調理法が官能検査に及ぼす影響. 日本養豚学会誌, 31(4): 121-127.
- Myer, R. O., Brendemuhl, J. H. and Johnson, D. D. (1999) Evaluation of dehydrated restaurant food waste products as feedstuffs for finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 77: 685-692.
- 中西五十・西野松之・丹羽美次・上野正和・稲森雅子・中村茜・新海憲宏・高村香代子・半澤紗由里 (2000) 食品製造副産物の肥育豚への利用性

に関する研究, パン屑主体のオールインサイレンジとパスタ屑利用による肥育試験. 第74回日本養豚学会大会要旨, 8.

- 農林水産省農林水産技術会議事務局 (1998) : 日本飼養標準・豚 (1998年度版). 155 pp, 中央畜産会, 東京.
- 大本邦介・埜元道男・小野忠義・松永寛・亀岡俊則 (1980) 残飯類の飼料利用に関する研究[2]—残飯の豚に対する栄養価と発育ならびに枝肉性状に及ぼす影響. 大阪府農林技術センター研究報告, 17: 67-76.
- 佐伯真魚・北川順矩・松本光洋・西山厚志・三好久美子・望月めぐみ・高須茜美・阿部亮 (2001). 都市厨芥飼料の化学組成と栄養価. 日本畜産学会報, 72(7): J 34-J 40.
- 坂田雅史 (1998) 合成系統豚「トウキョウ X」の産肉性. 関東東海農業の新技术, 120 pp, 関東東海農業試験研究推進会議農業研究センター, 第15号: 77-83.
- 渡辺千春・谷浩・藤田耕・富家武男・吉田栄治・二階堂隆友 (2001) 温風乾燥処理した厨房残さのブタにおける飼料利用. 日本畜産学会報, 72(10): J 542-J 550. 2001
- Westendorf, M. L., Dong Z.C. and Schoknecht, P.A. (1998) Recycled cafeteria food waste as a feed for swine: nutrient content, digestibility, growth, and meat quality. *Journal of Animal Science*, 76: 2976-2983.
- 矢後啓司・喜田浩一郎・仲沢慶紀・峰崎洋通・菅野二郎・鈴木貢・広瀬和男・川波充・徳谷彌 (1998) 未利用資源の有効利用に関する研究, 米糠加高温発酵資材の豚給与試験. 神奈川県畜産試験場報告, 87: 19-22.

研究資料

チリ共和国におけるトマトおよび野生トマト属植物の採集^{*1}川部 眞登^{*2}・有江 力^{*3}Collection of *Lycopersicon esculentum* and wild *Lycopersicon* spp.
in Republic of Chile^{*1}Masato KAWABE^{*2} and Tsutomu ARIE^{*3}

Field-stage collection of cultivated tomato (*Lycopersicon esculentum*) was made in regions I (Tarapaca) and V (Aconcagua) of Republic of Chile. Wild tomatoes (*L. peruvianum* and *L. chilense*) were also collected in 0–1,000 m and 2,000–3,700 m of altitude, respectively, in region I.

Keywords : Chile, tomato, wild tomato, *Lycopersicon*, field stage collection

チリ共和国, 地域 I (タラパカ) および地域 V (アコンカグア) の圃場において栽培種トマト (*Lycopersicon esculentum*) の採集を行った。また, 地域 I の標高 1–1,000 m および 2,000–3,700 m のフィールドにおいて, 野生種トマト (*L. peruvianum* および *L. chilense*) をそれぞれ採集した。

キーワード : チリ共和国, トマト, 野生トマト属植物, *Lycopersicon*, フィールド調査

1. はじめに

世界で最も愛されている果菜のひとつであるトマト (*Lycopersicon esculentum*) には, 萎凋病 (子囊菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* による), 根腐萎凋病 (*F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* による), 半身萎凋病 (子囊菌 *Verticillium dahliae* による), 褐色根腐病 (子囊菌 *Pyrenochaeta lycopersici* による) アルターナリア茎枯病 (子囊菌 *Alternaria alternata* tomato pathotype による), 葉かび病 (子囊菌 *Fulvia fulva* による), 菌核病 (子囊菌 *Sclerotinia sclerotiorum* による), 灰色かび病 (子囊菌 *Botrytis cinerea* による), うどんこ病 (子囊菌 *Oidium* spp. による), 疫病 (卵菌 *Phytophthora infestans* による), 青枯病 (細菌 *Ralstonia solanacearum* による), かいよう病 (細菌 *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* による), 根こぶ線虫病 (*Meloi-*

dogyne spp. による), モザイク病 (キュウリモザイクウイルスなどによる) などの重要病害が発生し, 栽培上の障害となっている (Jones *et al.* 1991, 日本植物病理学会 2000, Estay and Bruna 2002)。

トマトは, 南米, アンデス山地を原産とする野生トマト属植物から, 16世紀までに南米あるいは中米において育種され, その後観賞用として移出された欧州において現在の食用トマトへとさらに育種され, 世界中に広がったとされている (稲熊 1997, 橘 1999)。

近代育種は, 上述のような重要病害からトマトを保護するために, アンデスを原産とする野生種トマト (*L. pimpinellifolium*, *L. pennellii* 等) との交配過程を経ることなどによって耐病性品種を作りだしてきた。しかしながら, 耐病性品種を侵すことができる新たな病原菌レース出現する, 耐病性品種と病原

^{*1} Received Jul. 31, 2003; Accepted Oct. 27, 2003

^{*2} 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, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

^{*3} 東京農工大学農学部応用生物科学科植物病理学研究室 〒183-8509東京都府中市幸町3-5-8: Plant Pathology Laboratory, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

菌との‘いたちごっこ’はなおも続いている (Marshall *et al.* 2001)。

例えば、病害抵抗性を持たない「Ponderosa」等のトマト品種に世界的に大きな被害をおよぼした萎凋病（現在のレース1）に対して、1941年には、*L. pimpinellifolium* 由来の抵抗性遺伝子 *I* を導入した耐病性トマト「Pan America」が育種された。我が国においても、旧農林水産省園芸試験場興津支場で、*I* を保持する「Homestead」を元に、「興津1~6号」が育種され、その後現在に至るまで、*F₁* 品種を含むほぼ全ての実用品種が *I* を保持する萎凋病（レース1）耐病性トマトである。ところが、その後、*I* を持つ品種を無効化する菌系が報告され、これが新レース（レース2）であることが確認された。これに対応して、Strobelらは、*L. pimpinellifolium* 由来のレース2抵抗性遺伝子 *I-2* を持つ「PI 126915」と「Homestead」を母本に、*I* と *I-2* を併せ持つ、レース1、レース2抵抗性の品種「Walter」を1969年に育成した。我が国でも1980年代に、「桃太郎」をはじめとする *I* を持つ品種に激しい萎凋症状を引き起こす病原菌の出現が認められるようになり、Walter 由来の *I-2* を持つ、レース1、レース2抵抗性品種として「桃太郎8」や「マイロック」, 「おおひめ」などが育成された (国安 1980, Sela-Buurlage *et al.* 2001)。ところが、1990年の後半から、さらにこれらの品種をも侵す新たな萎凋病菌レース（レース3）の出現が我が国を含め各国で報告されてきており、現在レース3にも抵抗性の品種育成が進められている。

我々は、トマト萎凋病菌 (*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*) およびそのレース出現の過程について、病原性変異株の作出と遺伝子破壊法を利用することで解析を進めているが、その一方で、分子進化学的アプローチによってもその道筋を明らかにしていきたいと考えている。そのために、世界各地より、トマト萎凋病菌を蒐集し、その病原性・交配型・菌糸融合群・分子系統について解析を行っている (Kawabe *et al.* submitted)。加えて、野生トマト属植物から *F. oxysporum* を分離し、トマト萎凋病菌との関係を調査することで、トマト萎凋病菌の進化過程についての基礎的知見を得ることができるのではないかと考え、トマト属植物の原産地とされる南米のアンデスにおける野生トマト属植物の採取を計画した。特に、チリでは、食用トマトと野生トマト属植物が近接して生育している環境もあると考え

られ、両植物を採集し、その上に生息する *F. oxysporum* を分離することは興味深いことである。ここでは、チリにおけるトマト栽培状況、野生トマト生育状況、採集や持ち出し、持ち帰りに関する情報を、実際のフィールド調査の結果に基づいて述べる。

なお、チリにおけるトマト栽培状況、野生トマトに関する情報は、国際農林業協力協会 (1993)、全国農業改良普及協会 (1999)、佐藤 (1999) などから得ることができる。

2. チリ共和国の概要

チリ共和国 (Republic of Chile) は、南米大陸西海岸の、南緯約18度から55度にかけて4,329 kmに亘る長い国土を持つ。南北の長さと比較して東西の幅は200 km弱と狭く、その東辺は、アンデス山脈の高地である。

北部は降水量が少なく乾燥した地域で、いわゆるアタカマ砂漠を含む。そのため北部では一般にフロウラが貧弱であり、僅かにアンデスからの水を運ぶ川あるいは伏流水周辺に植物が見られる。土壌に塩類 (ボロンなど) が多く含まれることから植物の栽培にも好適とはいえない。

一方、中部のサンチアゴ周辺は地中海性の温暖な気候で、アンデス山脈からの雪解け水などもあり、肥沃な農業地帯が広がる。消費地を控えているため、野菜類などの栽培が多い上に、谷沿いには砂利を含む地域も多く、ワイン用ブドウの産地としても有名である。

チリ本土は北部より I から XII および V と VI の間に位置する首都サンチアゴ周辺 (RM) の13の地域 (Region, 州あるいは県と表記している書物もある) に分けられている (図1)。以下の文中ではこの地域番号を示す場合がある。

3. チリにおけるトマト生産と病害発生に関する聞き取り調査

チリ政府が運営する INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 農業牧畜研究所) La Platina (プラチナ地域研究センター) の研究員から収集した、チリにおける地域別トマト (生食用) の栽培面積に関する情報を表1に示す。温室トマト栽培としては、大市場のサンチアゴを控えた地域 V が最大である。この地域では、約30年間に亘って連作が重ねられているため、褐色根腐病 (corky

root) 半身萎凋病 (Verticillium wilt), 萎凋病 (wilt), 根こぶ線虫病 (root knot) による土壤病害の被害が大きいとのことである。

これらの土壤病害に対して, 従来はメチルブロマイドを使用して土壤消毒を行うことが一般的であったが, 2005年の使用禁止を目前に代替防除法を盛ん

に探索している事情は我が国と同様である。

4. チリにおけるトマト, 野生トマト属植物採集

4.1 サンチアゴ近郊トマト圃場における採集

サンチアゴ北部約200 km の地域 V 内, Quillota (キオタ) および Limache (リマーチェ) 地域の栽培トマト圃場において採集調査を行った (実際の採集は2002年12月10日)。トマト, レタス, トウモロコシ, タマネギ, アボカド等の栽培が盛んな地域である。

この地域では, トマトは大規模温室栽培が一般的である (図4-1)。この地域では, 温室を造り, 農家に貸し, その後の栽培管理指導までを一貫して行う会社組織が存在していることが興味深い。ただし, 温室とは言うものの日本の温室と異なり, サイドが解放されているため, 大規模な雨よけ栽培と理解することも可能である。トマトは品種 FA-593, Miramar, 785 Fortaleza (strongest の意), Jonit が主に栽培されており, 殆どの場合, 接木無し of 自根で栽培されていた。土壤消毒は, これまでにメチルブロマイドに替えて, クロルピクリン+1, 3ジクロロメタンを用いることを検討中とのことである。

実際に栽培されていたトマトにおいて, かいよう病, 黒斑病 (leaf spot, *Alternaria tomato* による), 葉かび病, 灰色かび病, 萎凋病, 根こぶ線虫病と診断できる病害の発生があり, 試料をサンプリングした。

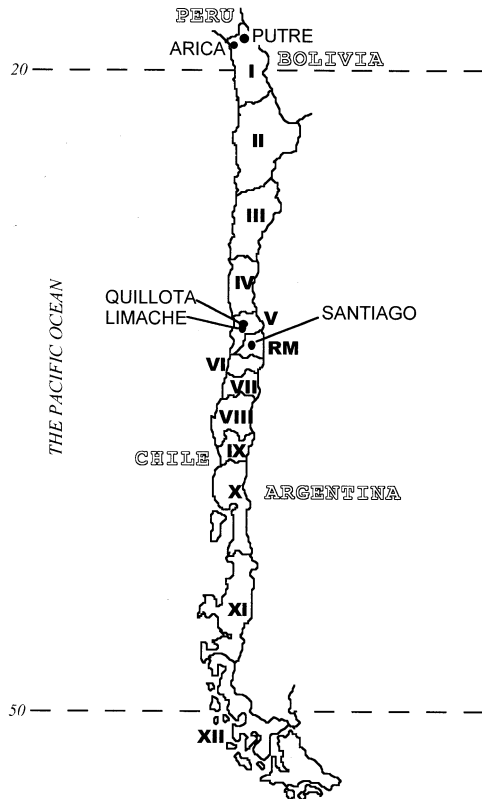


図1. チリ共和国の概要と地域

表1. チリにおける生食用トマトの栽培状況

地 域	温室生産面積 (ha)	露地生産面積 (ha)
I	5	795
II	0	2
III	110	220
IV	110	940
V	1,570	530
Metropolitan (RM)	80	1,380
VI	11	1,129
VII	216	1,942
VIII	6	480
IX	5	280
X	0	24
XI	0	1
XII	1	0
合 計	2,114	7,723

2000年現在。

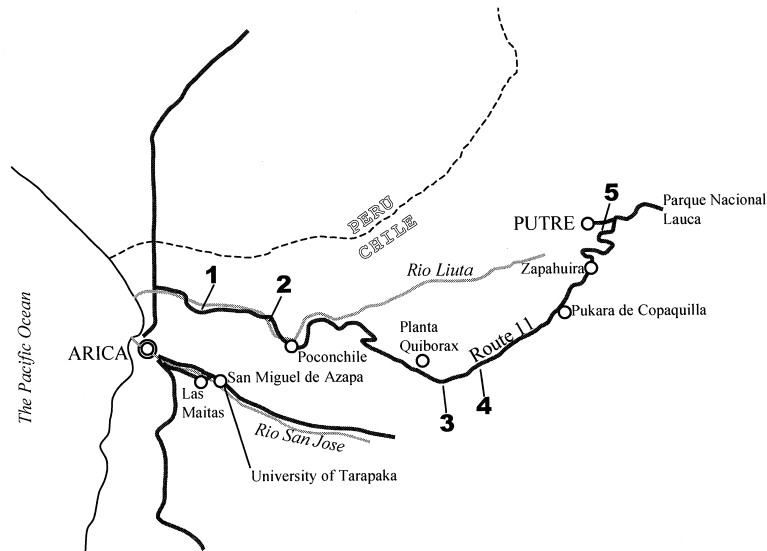


図3. アリカ周辺およびジュタ渓谷～高地の採集フィールド
地図中の1～5は本文中のフィールド1～5に対応している。
標高は、1 : 20 m, 2 : 400 m, 3 : 1,920 m, 4 : 2,300 m, 5 : 3,700 m。

4.2 Azapa (アサパ) Valley 周辺におけるトマト圃場における採集

チリ北端部、I地域の町アリカ (Arica) をベースにトマトの採集調査を行った (実際の採集は2002年12月13日)。すでに述べたように、チリ北部は乾燥地帯であり、アリカ周辺もほぼ砂漠地帯である。ところが、アリカの東部のアサパ渓谷 (Azapa valley) には、アンデスからの水が季節によっては流れ、また、伏流水も存在するために、アリカ周辺では数少ない耕作可能地帯となっており (図2)、オリーブおよびトマト等の野菜が栽培されている。



図2. アリカ市内から見るアサパ渓谷
アサパ渓谷沿い (右奥) だけが緑に覆われているのがわかる。

アサパ渓谷におけるトマトは露地で垣根栽培されているのが特徴であり、Naomiなどの品種を栽培している。萎凋病や根こぶ線虫病の発生に対して、メチルプロマイド処理を嫌い、鶏糞を入れるなどの耕種的防除法が試されているようである。アサパ溪

谷の村、サンミゲルやラスマイタス (図3) において実際に栽培されていたトマト (図4-2) では、うどんこ病、灰色かび病の発生が多くみられた。萎凋病、枯死症状を示している株もあり、萎凋病、かいよう病などが原因として推測された。また、根を引き抜くと根こぶ線虫によるこぶが多数形成されているもの、根はりが悪く根が黒変しており褐色根腐の発生を推定させるものも多かった。

4.3 Lluta (ジュタ) Valley および高地における野生トマト属植物の採集

ジュタ渓谷は、アサパ渓谷と平行する北側の渓谷である。ジュタ渓谷は、アサパ渓谷と比べると少ないものの、水が供給されているため、狭い範囲で農耕が行われている。また、渓谷沿いに、トマト属などの野生植物が生育する。ただし、ジュタ渓谷の土壌は、アサパ渓谷に比べて非常に高濃度の塩 (ボロンなど) 含むため、高塩濃度耐性でない一般の植物の生育は困難であるとされる。

実際の調査は2002年12月14日に、アリカ (標高約0 m) からプートレ (Putre, 標高約3,500 m) までCh 11号線を走行し、道沿いの野生トマト属植物の観察、採集を行った (図3)。

チリのこの地域で採集できる野生トマト属植物としては、*L. peruvianum* (図4-3~6) および*L. chilense* (図4-7~9) の2種がある。どちらも多年生の草本で、大きいものでは、直径50 cmから1 mの灌木状に生育し、*L. esculentum* と類似した黄色い花を咲かせていた。葉は、どちらも複葉であるが、*L. pe-*

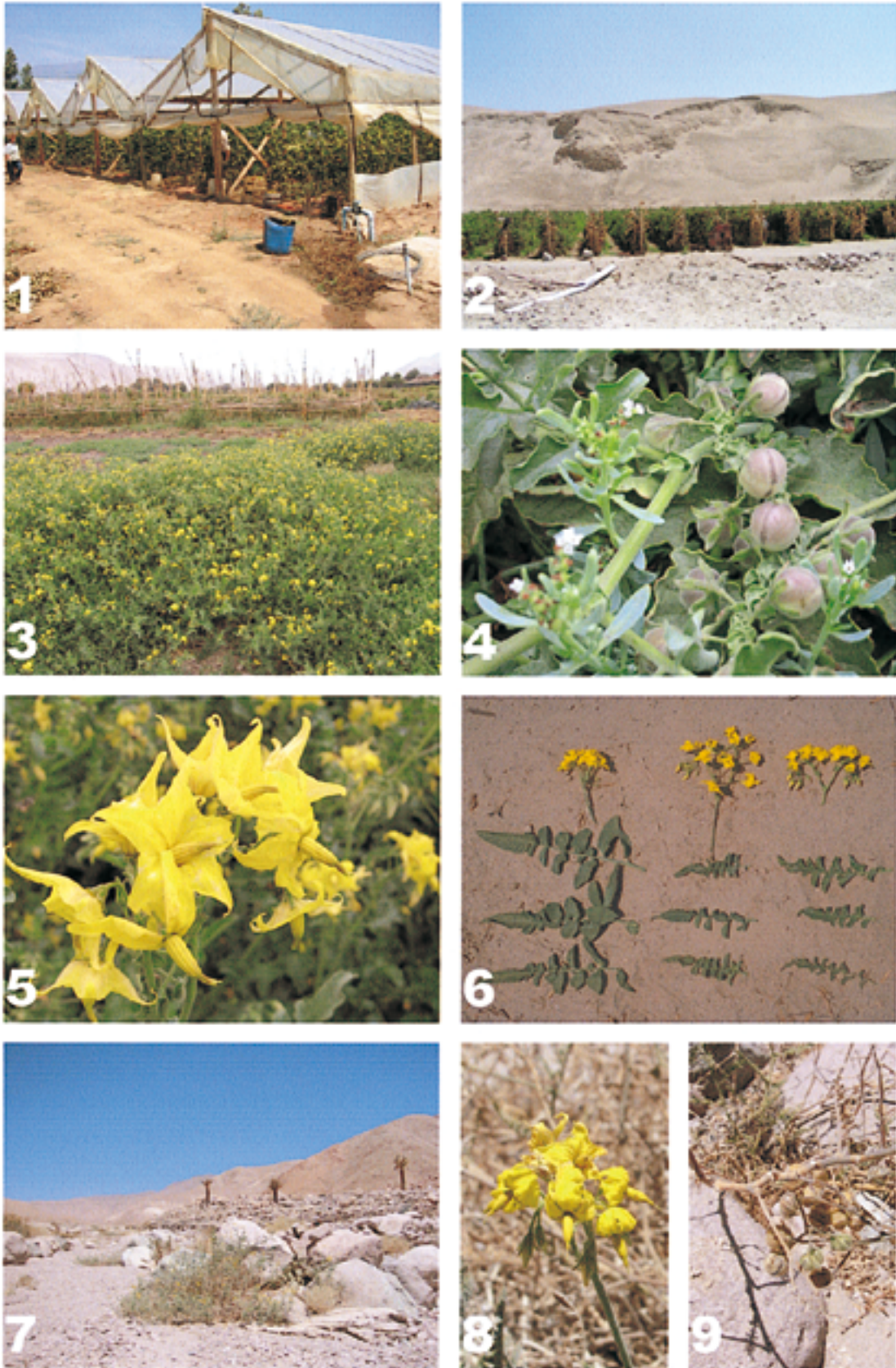


図4. チリにおけるトマト栽培状況とトマト属野生植物

1 : Limache におけるトマト温室栽培, 2 : Las Maitas におけるトマト露地栽培, 3 : *Lycopersicon peruvianum* の生息状況 (フィールド1)。奥は食用トマトの圃場, 4 : *L. peruvianum* の果実 (フィールド1), 5 : *L. peruvianum* の花 (フィールド1), 6 : *L. peruvianum* の葉および花の多様性 (フィールド2), 7 : *Lycopersicon chilense* の生息状況 (フィールド4)。奥に candelabro が見える。8 : *L. chilense* の花 (フィールド3), 9 : *L. chilense* の果実 (フィールド4)。

ruvianum が比較的 *L. esculentum* と類似した形態となるのに対し、*L. chilense* では、小葉が細かく、葉身の面積が狭いのが特徴であった。また、果実は、*L. peruvianum* では白っぽい緑で、直径2 cm 余りの球形、熟すと紫色を帯び、特に縦に紫色の縞模様がみられる一方、*L. chilense* では比較的濃い緑で直径1 cm 程度、やや平べったく、紫色を帯びないようであった。果実は、*L. peruvianum* ではトマト臭があり、酸味が強く、甘みは無く、やや苦い。*L. chilense* はカレー臭を持ち、酸味、甘みともにあまり感じられなかった。

ジュタ渓谷下流から、1,000 m 付近までの、河川敷などで *L. peruvianum* が群落を形成し、黄色い花を咲かせ、結実していた。場所によっては、栽培トマトの株元に *L. peruvianum* が自生しているところもあり、両者上での微生物相の異同に興味を持たれた。また、*L. peruvianum* の複葉の形態、花柄の長さ、着果数などに、かなりの多様性がみられた。

Ch 11号線は Poconchile の村落を越えたあたりでジュタ渓谷から離れ、乾燥した山岳に登り始める。この乾燥地帯によって、*L. peruvianum* の自生域と、*L. chilense* が自生する標高の高い地域が分断されている様である。標高2,000 m 付近~3,700 m 付近の水無し川や道路路側で *L. chilense* は群落を形成していた。

トマト属野生種の主な採集地点を以下に示す(図3中の番号に対応している)。

【フィールド1】

ジュタ渓谷下流、Ch 11号線分岐点より10 km ポイント、標高20 m。道路左側、河川敷の畑付近の空き地。*L. peruvianum* が花盛りで菜の花畑の様。果実も多く形成されている。すぐ脇に栽培トマト(収穫終了期)圃場あり。

【フィールド2】

ジュタ渓谷下流、22 km ポイント、標高400 m。橋(Restaurant Las Chilcas の看板あり)を越えた道路右側、河川敷に *L. peruvianum* の株が多数自生していた。開花、結実期。株によってかなり形態に多様性がみられる(図4-6)。

【フィールド3】

ボロンの採掘工場(Planta Quiborax)を超えた、65 km ポイント、標高1,920 m。水がなく、塩が析出している川を道が横切る地点。道路右手の河床に *L. chilense* が多数自生。殆ど土壌が無いようで、砂利や岩の間に根を張っている。開花、結実

期。

【フィールド4】

73 km ポイント、標高2,300 m。道路右手に沿って水が無い川が走り、サボテン(*candelabro*, *Pachycereus weberi* (JM. Coult.) Backeb.) が点在するところの河床。*L. chilense* が多数自生。岩の隙間に根を下ろしており、土壌採集困難。経年株と考えられる。開花、結実期。このあたりは、道路の路側に多数の *L. chilense* が自生している。(2,500 m あたりから Putre 付近まで *L. chilense* は分布していない)

【フィールド5】

120 km ポイント、標高3,700 m。Putre の町を見下ろす展望台脇。道路左手の路側の斜面。*L. chilense* が開花、結実開始期。ここより Putre に至る道路脇は、*L. chilense* の宝庫。

5. チリにおける採集についての注意事項

チリは現時点では、遺伝資源の国外持ち出しについては比較的無頓着のようである(我が国と同レベルか?)。出発前に、在日チリ大使館に問い合わせたところ、「研究目的の場合、規制はないのでどうぞ」という旨の解答を得た。また、INIA や大学関係の研究者も特に問題無いと考えているようであった。

農家における採集は、現地の関係者(INIA や大学)から連絡をとってもらい、訪問した上で行うべきである。特に、サンチアゴ近郊では、無断で立ち入った場合は発砲されることも考えられるため、注意を払うべきである。また、農家では、スペイン語以外は通じない場合が殆どであるため、スペイン語によほどの自信がある場合を除き、研究者あるいは通訳の同行が必要である。

6. 植物検疫について

6.1 チリ国内における植物体・土壌などの移動

病虫害の移動を防ぐ目的で、アリカを含む北部地帯からサンチアゴ等の南部への植物の移動は、政府機関である Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 農産物動物検疫)によって制限されている。許可なしで生植物や土壌を移出することはできず、空港においても SAG 係員によって荷物のチェックが行われる。北部から日本へ持ち帰る生植物や土壌は、サンチアゴなどで開けないことを条件に、市内の SAG 事務所において梱包し、検印を受けるととも

に、サンチアゴへの移出許可書を受け取る（手数料約1,000ペソ）。DHL等の貨物便で、北部から日本へ生植物や土壌を送る際にも必ず貨物がサンチアゴを経由するため、この手続きをとった後、許可書と貨物をDHL事務所に持ち込む必要がある。

6.2 植物体・土壌などの日本への持込

我が国では、生植物体、土壌、植物病原菌などは、植物防疫法に基づき、原則として輸入禁止品とされている。ただし、研究目的などの特殊な場合には農林水産大臣より禁止品輸入許可を受けて輸入し、許可条件を守ることによって当該禁止品の試料としての利用が可能になる^{*4}。チリ産栽培トマト植物組織、罹病植物組織、土壌、野生トマト属植物、植物からの分離微生物もこの方法によって日本に持ち帰り、研究対象とすることができる。また、チリ産トマト属植物種子については輸入禁止品の対象外であるため、チリで購入あるいは採取した種子は、日本へ入国時に植物検疫官による検査を受けるのみで持ち帰り、植物防疫法上の制限無く利用できる。ただし、輸入禁止品対象試料と、種子は別々に梱包する必要がある。

チリより生植物や土壌を携行によって輸入する場合、航空機の関係で第3国（例えばアメリカ合衆国）を経由しなくてはならない場合は、当該国の植物防疫指針に従わなくてはならないはずであるため、注意が必要である。我々も、米国ダラス空港経由で帰国、一時入国しなくてはならないため、米国農務省（USDA）に再三問い合わせを行ったが、返答を得られず、正式な手続きの方法や手続きに要する期間などについては不明である。チリ（サンチアゴ国際空港）から日本へのルートはかなり限られているが、可能であれば、第3国へ入国をしないでよい、あるいは携行荷物が直行する帰国ルート（ブラジル・米国経由のVARIG航空便やシドニー経由のカンタス航空便）を利用すると安心である。

チリから生植物や土壌を貨物便や小包、郵便によって日本へ送る場合、まず注意しなくてはならないのは、我が国の農林水産大臣許可に輸送手段（貨物、小包、郵便）が明示されるので、申請時に輸送手段を決定しておく必要がある。貨物便が便利であると考えられる。チリから日本へは、DHL（航空貨物）などによって1週間程度での貨物の送達で

き、15kgの荷物をおよそ4万円で輸送できる。ただし、注意点として、DHLの受付窓口が当然ながら、植物防疫上通常は海外輸送が禁止されている貨物の輸送に不慣れであること（本来、輸入国のみの規制であるため、チリからの発送は問題無いはずであるが、日本の植物検疫官が輸入を拒否した場合の責任の所在などに不安を持つようである）、送達先が2段階（1段階目は植物防疫所で、イエロータグによりこれを明示、検査終了後我々のもとに届けられる）であることにより手続きが複雑になる、北部のアリカからDHLで貨物を送る場合、必ず南部のサンチアゴ経由となるため、アリカからサンチアゴまでの移出許可（上述）が必要になること、DHLや植物検疫の事務所が平日のビジネスアワーしか開いていないこと、我が国へ貨物が届いてからも、DHLの係員が手続きに必ずしも習熟しているとは言えず、荷物が立ち往生する可能性がある、などをあげることができる。なお、くれぐれも輸入禁止品貨物中にその他の物品を混ぜないようにされたい。

7. 謝 辞

本フィールド採集は、平成14～15年度科学研究費基盤研究B【海外調査研究】「植物病原菌フィールド分離株のDNAに病原菌の起源と進化の道筋を探る」の補助の元に行われた。また、採集したトマト、野生トマト属植物等から分離した菌の解析は現在遂行中である。

フィールド調査を実施する前に、チリにおけるトマト栽培状況、野生トマト属植物の分布などに関する情報をいただいた、鈴木茂博士（元農業生物資源研究所）、鴨川知弘氏（サカタのタネ）に厚くお礼申し上げます。また、チリでのフィールド調査に快くご協力くださったINIAのMs. Alice Bruna Vasquez, Ms. Gloria Tobar C., Mr. Juan Felipe Pasten Duarte, Mr. Jose Olavarriaの各氏、Tarapaca UniversityのMr. Mauricio Jimenez Roco, Mr. Eugenio Doussoulin Escobar, Mr. Prdro Gallo, Dr. Rene Chavezの各氏に感謝の意を示す。最後に、チリにおける採集に同行いただいた児玉基一朗講師（鳥取大学）および終始、通訳・調査・案内をしていただいたMs. Crystal Vodanovic氏に感謝申し上げます。

^{*4} 乾燥したイネ科植物組織（緑色を保っているものは含まない）は、口蹄疫などの伝染源となりうるため、原産国によっては併せて動物検疫の対象ともなるので注意が必要である。

8. 参考文献

- Estay, P. P. and Bruna, A.V. (2002) *Insectos, acarosy enfermedades asociadas al tomate en Chile*. 111 pp, INIA, Santiago, Chile.
- 稲熊隆博・細井克敏 (1997) トマト, 世界を制覇した植物たち. 日本農芸化学会編, 302 pp, 学会出版センター, 東京: 103-130.
- Jones, J. B., Jones, J. P., Stall, R. E. and Zitter, T. A. (1991) *Compendium of tomato diseases*. 73 pp, APS Press, St. Paul, USA.
- 国際農林業協力協会 (1993) チリの農林業—現状と開発の課題—. 138 pp, 国際農林業協力協会, 東京.
- 国安克人 (1980) トマト萎凋病. 作物のフザリウム病, 松尾卓見・駒田旦・松田明編, 502 pp, 全国農村教育協会, 東京: 312-314.
- Marshall, J. A., Knapp, S., Davey, M. R., Power, J. B., Cocking, E. C., Bennett, M. D. and Cox, A. V. (2001) Molecular systematics of *Solanum* section *Lycopersicum* (*Lycopersicon*) using the nuclear ITS rDNA region. *Theor. Appl. Genet.* 103: 1216-1222.
- 日本植物病理学会 (2000) 日本植物病名目録. 857 pp, 日本植物防疫協会, 東京: 250-254.
- 佐藤隆徳 (1999) チリにおける開発途上国生物遺伝資源共同調査事業 (多様性の変化情報・特性に関する現地共同調査, 平成8~10年度) 報告書—チリ国におけるトマト近縁野生種の生息域内保存 (In situ conservation) に関する研究. 16 pp. および付図, 野菜・茶業試験場, 津.
- Sela-Buurlage, M. B., Budai-Hadrian, O., Pan, Q., Carmel-Goren, L., Vunsch, R., Zamir, D. and Fluhr, R. (2001) Genome-wide discussion of *Fusarium* resistance in tomato reveals multiple complex loci. *Mol. Genet. Genomics* 265: 1104-1111.
- 橘みのり (1999) トマトが野菜になった日. 238 pp, 草思社, 東京.
- 全国農業改良普及協会 (2002) 中南米における持続的な農業技術を推進するための手引き—品質選定を中心に—. 126 pp, 全国農業改良普及協会, 東京.

研究資料

東京農工大学フィールドミュージアム (FM)
秩父式—鉄板天井式—の炭窯*¹内田 武次*²A charcoal kiln with an iron plate ceiling improved
at University Forests of TUAT*¹Takeji UCHIDA*²

Charcoal kilns with iron plate ceilings have been used for more than 40 years at Chichibu University Forest of Tokyo University of Agriculture and Technology. Iron plate ceilings of the kiln are suspended from upper beams using wire ropes. Side walls of the kiln and upper surfaces of the ceilings are made of clay. This kiln, which is easily built, makes it possible to produce much quantity of charcoal and to work efficiently.

Keywords : charcoal kiln, charcoal production, iron plate, suspended ceiling

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, FM 秩父 (旧埼玉演習林) において, 鉄板天井式の炭窯が40年以上前から使われている。この窯は, 梁等からワイアロープで吊り下げられた鉄板を天井に使い, 側壁および天井上を粘土で固める。築窯は技術的に容易であり, 木炭収獲量が大きく, 窯内での作業能率が高かった。

キーワード: 木炭生産量, 炭窯, 鉄板, 吊り下げられた天井

1. はじめに

木炭は, 昨今はほとんど重視されていないが, 燃料革命前までは現在の石油のような存在であった。例えば芝本 (1944) には, 「木炭に対する国家的要求は極めて熾烈にして, 其の増産及び消費規正につき適切なる諸般の措置を講じてこれを強力に推進することは刻下の急務である。」とある。そのため, 木炭の増産に直結するとして, 炭窯の改良が各地で精力的に調査された。

東京農工大学農学部附属埼玉演習林では1949年の発足時から, 機構改革によりフィールドミュージアム (FM) 秩父に2000年に改称されたあとも, 製炭は主要なる業務の一つであり, 製炭に関する調査・研究が長年行われてきた。その中で, 半球状の在来

窯の築窯は難しいため築窯技術者は希少である現在, 鉄板天井の FM 秩父式炭窯は容易に築窯でき, しかも製炭量などの機能は優れており, 記録に残すべきと考えられたので, ここに報告する。

本文を草するにあたり, 終始指導して下さった東京農工大学 FS センター自然環境教育研究分野長岸洋一教授, 旧埼玉演習林・FM 秩父の旧・現職員の各位に, それぞれ深い謝意を表します。

2. 炭窯の改良

炭窯として具備すべき条件は, ①構造が簡単でしたがって築窯が容易であること, ②熱量の損失が少なく予備乾燥その他加熱に要する燃料が可及的少量でよいこと, ③点火及び炭化温度の調整が容易であること, ④炭材の調整・立て込み・出炭その他の作

*¹ Received Oct. 1, 2003; Accepted Oct. 16, 2003

*² 東京農工大学農学部附属フィールドサイエンス・センター, FM 秩父 〒369-1901 埼玉県秩父郡大滝村字大滝: Field Musium Chichibu, Tokyo University of Agriculture and Technology, Otaki-V., Saitama-Pref. 369-1901, Japan

業が容易でかつ能率的に行い得ること、⑤木炭の収穫量が大きめで品質もよいこと、の5点に要約される(芝本 1944, 芝本・佐藤 1950)。

古くから普及しているいわゆる在来窯は、操作が少々困難で多くは非能率的であり、しかも窯口付近の灰化が多く、木炭の取得率が低いという欠点を持っていた。そこで種々の改良窯が案出されたが、清澄 G 式黒炭窯がそれらの欠点をほぼ補完し、全国的に普及した(千葉演習林 1997)。

木炭生産量は燃料革命以降減少を続けたが、近年木炭そのものが見直され、生産量は横ばいとなった。一般市民参加の小規模生産は、1 m³程度の木材を対象に、金属製の移動式簡易炭化炉(猿田 1982)やドラム缶(津田 1998)を利用して行われている(表1)。2~3 m³程度の木材を対象に、在

来窯は依然広く使われているが、鉄板を側壁と天井に使った窯(鶴見未発表)やフォークリフトで炭材に真上から被せる鉄製の箱型窯(KST型製炭炉)も、使われるようになった。

3. FM 秩父式の炭窯

FM 秩父式の炭窯は、在来窯の改良であり、40年以上前から使われている。粘土、レンガ等を積み上げる半球状の在来窯に対し、小屋組の梁等にワイヤー及び吊り下げ金具を用いて天井用鉄板(幅120 cm×長さ200 cm×厚さ2.5 mm)4枚を合わせる。側壁は粘土を使い固める(図1~3)。天井は焼土等で空気もれを塞ぐ。その長所は、①外側の柱組があれば、築窯は技術的に容易であり、4~5名で20日程度で完成する、②長方形であるため窯内の容量

表1. 各炭窯の機能の比較

炭 窯	製炭量	品 質	築 窯	作業能率	製炭時間
ドラム缶	15 kg	並	容易	並	15~20時間
移動式簡易炭化炉	50~200 kg	並	市販	並	10~30時間
在来窯	400 kg	良	困難	並	7日
FM 秩父式	500 kg	良	容易	良	8日
鶴見式鉄板窯	400 kg	良	容易	良	24時間
KST 型製炭炉	2~2.5 m ³	並	市販	良	24~36時間

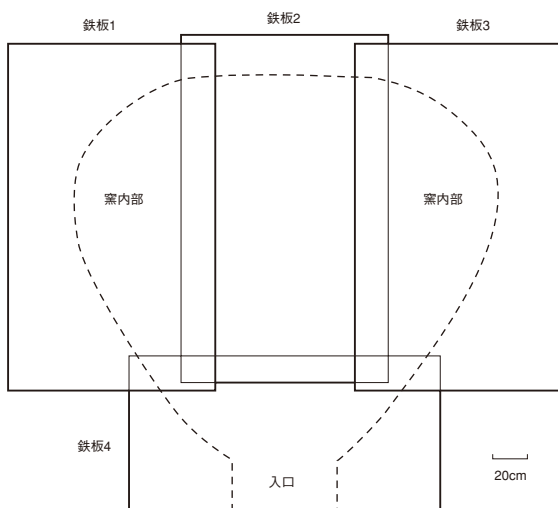


図1. 炭窯の平面図

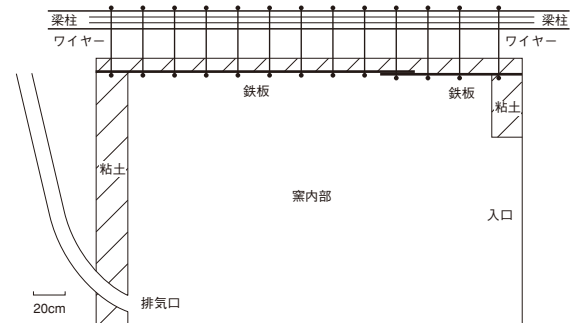


図2. 炭窯の側面図



図3. 炭窯の外観

が大きく、木炭収穫量が大きくなる、③天井を高くすることによって、窯内での作業能率がよくなる、ことである。欠点は、製炭に時間がかかることである。

この窯で作られた木炭の品質や燃材の使用量は、在来窯に劣ることはなかった。筆者が経験した他の窯の機能と比較すると表1のようになり、2～3 m³規模の木炭生産には問題はなく、適していると考えられた。

引用文献

千葉演習林（1997）木炭の演習林．演習林36：47-

73.

猿田四郎（1982）移動式簡易炭化炉による製炭方法．茨城県林業試験場研究成果解説9：1-2.

芝本武夫（1944）清澄G式黒炭窯と其の操作法．山林743：10-27.

芝本武夫・佐藤 修（1950）木材炭化に関する研究（第8報）清澄G式黒炭窯．東大演習林報告38：43-57.

津田裕司（1998）ドラム缶を利用した木炭・木酢液の製造法．茨城県林業試験場研究成果解説34：1-2.

鶴見武道（未発表）

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 (S 1) 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 板橋 久雄 東京農工大学農学部 FS センター長, 教授

編集委員 岸 洋一 FS センター教授
鈴木 馨 FS センター助教授
島田 順 FS センター教授
松村 昭治 FS センター助教授
平田 豊 生物生産学科助教授
岩渕喜久男 応用生物科学科教授
楊 宗興 環境資源科学科助教授
峰松 浩彦 地域生態システム学科助教授
柴田 秀史 獣医学科助教授
石井 泰博 硬蛋白質利用研究施設教授

事務局 赤井 義一 FS センター事務長

英文校閲者 CRIPE, R. A. Spacegate, Tsukuba, Ibaraki, Japan

Editorial Committee of Journal of Field Science

Editor-in-Chief

Hisao ITABASHI Director of Field Science Center, Professor of Tokyo University of Agriculture and Technology

Editorial Board

Yoichi KISHI Professor of Field Science Center
Kaoru SUZUKI Associate Professor of Field Science Center
Jun SHIMADA Professor of Field Science Center
Shoji MATSUMURA Associate Professor of Field Science Center
Yutaka HIRATA Associate Professor of Dep. of Biological Production
Kikuo IWABUCHI Professor of Dep. of Applied Biological Science
Muneoki YOH Associate Professor of Dep. of Environmental and Natural Resources Science
Hirohiko MINEMATSU Associate Professor of Dep. of Ecoregion Science
Hideshi SHIBATA Associate Professor of Dep. of Veterinary Medicine
Yasuhiro ISHII Professor of Scleroprotein and Leather Research Institute

Management Office

Yoshikazu AKAI Chief of Field Science Center Office

English Referee

CRIPE, R. A. Spacegate, Tsukuba, Ibaraki, Japan

平成15年12月15日 印刷

平成15年12月20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.4

December, 2003

Articles

- 1 Effects of tillage and pesticides on nitrous oxide emission from an upland field/ Fujinuma, R. and Matsumura, S.
- 9 Acidification of Precipitation in Tottori, Japan/ Hara, H. and Kimura, Y.
- 19 Effects of Feeding Food Waste Products on the Growth and Meat Quality of Growing-Finishing Pigs/ Miyazawa, K., Ishida, K., Hirata, T., Tanaka, Y., Ai, T., Tominaga, M., Yokoyama, M., Makino, M., Ishii, K., Ueno, K., Kanda, S. and Itabashi, H.

Research materials

- 25 Collection of *Lycopersicon esculentum* and wild *Lycopersicon* spp. in Republic of Chile/ Kawabe, M. and Arie, T.
- 33 A charcoal kiln with an iron plate ceiling improved at University Forests of TUAT/ Uchida, T.

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