

被覆肥料窒素の土壌中での挙動^{*1}

酒田直克^{*2}・山本一夫^{*3}・中原秀雄^{*2}・丸本卓哉^{*4}

キーワード 地下水汚染, 溶脱, 緩効性肥料, 被覆肥料, ¹⁵N

1. はじめに

最近, わが国においても地下水の硝酸塩汚染が問題と
なっている¹⁻³⁾. KEENEY⁴⁾ は, 窒素肥料の集約的
使用が地下水中の硝酸レベルを上昇させ, 湖沼, 河川の
富栄養化さらには, 飲料水中の硝酸富化を招いて家畜,
人体へ害を及ぼすと報告している. また, 彼は窒素肥料
による地下水の硝酸塩汚染を軽減するために, 種々の方
法を提案しているが, そのひとつに緩効性窒素肥料の使
用をあげている.

著者らは, 昭和 60 年以来, 緩効性を目的とした被覆
肥料の開発を進め, アルキッド系樹脂で被覆した被覆肥
料を製造し, その肥効に関する試験を行ってきた. この
被覆肥料の被覆材は植物由来の天然物組成で, 3 次元網
目構造によりその溶出を制御しているものである.

本報では, 緩効性肥料の一種である被覆肥料の使用に
よる地下水汚染の軽減化を室内モデル試験で確認すると
共に, キュウリを用いたポット試験において, ¹⁵N で標
識した被覆肥料窒素の土壌中での動態および植物体への
吸収について解析した結果を報告する.

2. 実験方法

1) 被覆肥料からの窒素の溶出

(1) 供試土壌

陽イオン交換容量 (CEC) の異なる 4 種の土壌を湿潤
のまま 2mm の篩に通し実験に供試した. 土壌の理化学
性を第 1 表に示した.

(2) 供試肥料

速効性肥料および緩効性のアルキッド系樹脂被覆肥料
を供試した. それぞれの成分を第 2 表に示した.

(3) 試験処理

直径 5 cm のガラス管に土壌を充填し, 表層に肥料を
添加した (第 1 図). これに年間降水量約 2400 mm 相当
の水を上から定期的に加えた. すなわち 1 回当たり
20 mL を 3 日間に 2 回, 70 日間にわたり添加した. 土
壌充填ガラス管は室温にてインキュベートした. 土壌を
通って流出した水を経時的に採取し, 窒素量を分析して
溶脱率を求めた.

(4) 溶脱水の分析

アンモニア態窒素の定量はインドフェノール法⁵⁾ で硝
酸態窒素は, ジアゾ還元法⁶⁾ にて測定した.

2) キュウリに対する被覆肥料の効果

(1) 供試土壌

山口大学農学部附属農場の畑作土 15 cm を採取し,
湿潤のまま 2 mm の篩に通したものを実験に供試した.
土壌の理化学性を第 3 表に示した.

(2) 供試肥料

速効性肥料として硝安系肥料と尿素, 緩効性肥料とし
てアルキッド系樹脂で被覆した硝安系肥料および尿素を
用いた. ここで用いた被覆硝安系肥料および被覆尿素
は, 25°C 湛水培養, 30 日間で窒素成分の 80% が溶出
するものを用いた (第 4 表).

(3) 供試作物

キュウリ (品種: れんせい).

(4) 試験処理

1/5000 a のポットに土壌 3 kg を入れ, 上層 1/3 層
(約 10 cm) の土壌 1 kg (以下, 上層土とする) に肥料
を混合した. 施肥量は 1 ポット当たり窒素として 1 g,
¹⁵N として 50 mg 施用した (第 2 図).

(5) 化学分析の方法

④ 植物体については調製した粉末試料 40 mg を 20
mL 標線付き試験管に取り, 濃硫酸 1 mL を加えた後ブ
ロックヒーターを用いて 180~200°C になるまで加熱し
た. 次に 300 g L⁻¹ 過酸化水素水を数滴加えて分解を続
けた. 分解が終了したのち放冷し, 純水を加えて 20 mL
とした. この試料液についてセミマイクロケルダール法⁷⁾
を用いて全窒素を定量した.

*1 本報告の一部は, 1992年度日本土壤肥料学会新潟大会で発
表した.

*2 セントラル硝子(株)化学研究所(宇部) (755 宇部市大字沖
宇部 5253 番地)

*3 同上 (現在, (株)セントラルサービス 755-02 宇部市大字
東岐波 4646-1)

*4 山口大学農学部 (753 山口市吉田 1677-1)
1994年9月30日受理

日本土壤肥料学雑誌 第66巻 第3号 p. 253~258 (1995)

第 1 表 供試土壌 (被覆肥料からの窒素の溶出)

| 土 壌 | Texture | pH (H ₂ O) | 全窒素 | 全炭素 | CEC |
|----------------|---------|-----------------------|-----------------------|------|------|
| | | | (g kg ⁻¹) | | |
| 川砂 (山口) | S | 6.62 | 0.2 | 0.8 | 1.2 |
| 礫質黄色土 (山口) | SL | 6.48 | 1.3 | 12.1 | 7.5 |
| 細粒グライ土 (福井) | LiC | 6.05 | 3.1 | 32.9 | 20.7 |
| 表層腐植質黒ボク土 (島根) | CL | 7.15 | 3.9 | 63.2 | 30.0 |

第 2 表 供試肥料 (被覆肥料からの窒素の溶出)

| | アンモニ ア態窒素 | 硝酸態窒素 | 全窒素 |
|--------|-----------------------|-------|-----|
| | (g kg ⁻¹) | | |
| 速効性肥料* | 111 | 97 | 208 |
| 被覆肥料** | 100 | 90 | 190 |

* 硝安系肥料 (21-7-14).

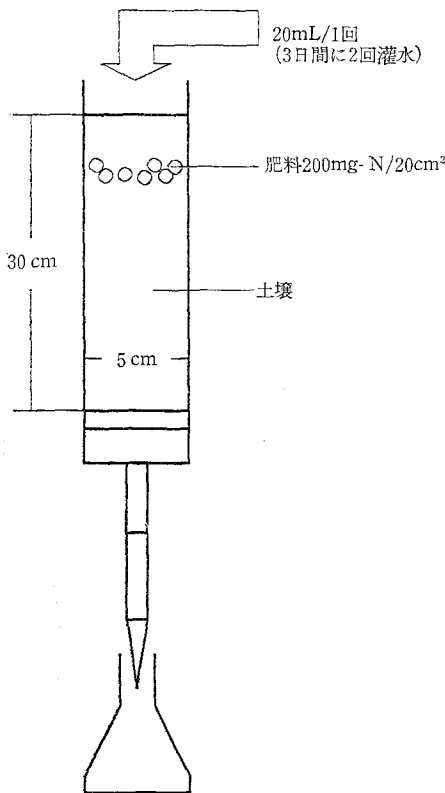
** 硝安系肥料 (21-7-14) をアルキッド系樹脂で被覆した.
25°C 湛水培養, 30 日間で窒素成分の 80% が溶出する.

第 3 表 供試土壌 (キュウリに対する被覆肥料の効果)

| 土 壌 | Tex- ture | pH (H ₂ O) | 全窒素 | 全炭素 | CEC |
|-------------|--------------|-----------------------|-----------------------|------|-----|
| | | | (g kg ⁻¹) | | |
| 中粗粒黄色土 (山口) | SL | 7.7 | 1.6 | 16.2 | 7.8 |

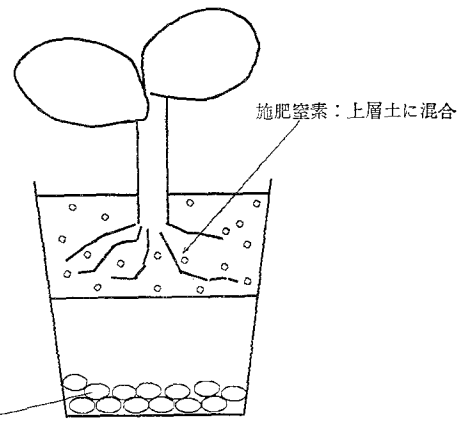
第 4 表 供試肥料 (キュウリに対する被覆肥料の効果)

| | アンモニ ア態窒素 | 硝酸態窒素 | 全窒素 |
|------------|-----------------------|-------|-----|
| | (g kg ⁻¹) | | |
| 速肥 N (硝安系) | 175 | 175 | 350 |
| 被覆 N (硝安系) | 148 | 148 | 296 |
| 速肥 U (尿素) | — | — | 460 |
| 被覆 U (尿素) | — | — | 380 |



第 1 図 ガラス管を用いた溶脱試験

② 上層土, 下層土とも 100 g L⁻¹ 塩化カリウム溶液で抽出し, 全無機態窒素量およびアンモニア態窒素量をブレンナー法⁶⁾により測定した. 硝酸態窒素量は, 全無機



第 2 図 キュウリのポット栽培概要

態窒素量からアンモニア態窒素量を引いて求めた.

③ 被覆肥料からの窒素の溶出量は, 被覆硝安系 3.4 g, 被覆尿素 2.6 g (窒素として被覆硝安系 1.01 g, 被覆尿素 0.99 g) を採取し, 約 20 g の供試土壌と混和したものを網状の袋にいれ, ポット内の表層下 5 cm の部位に埋設した. 一定期間毎に袋を採取した. 附着土壌を速やかに水洗除去し, 残存肥料を全量回収して残存窒素量を求め, 溶出量を算出した. 窒素の分析は被覆肥料を水中で粉碎し, 尿素はケルダール法⁹⁾にて, 硝安系肥料

はブレンナー法⁶⁾にて分析した。

④ ポットからの溶脱量は、その期間内に供給（溶出）した窒素量と植物体の吸収量および土壌残存量の差より求めた。

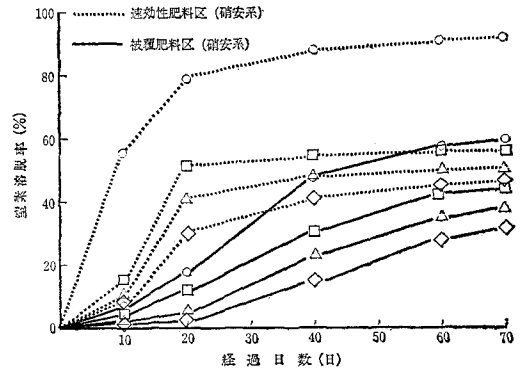
⑤ ¹⁵N の分析は、植物体および土壌について窒素含量測定後の試料液を再び水蒸気蒸留し、アンモニアを 0.1 N 塩酸に吸収させたものを供試した。これを窒素濃度が 1.0~3.0 mg mL⁻¹ になるようにロータリーエバポレーターで減圧濃縮し、この濃縮液について、¹⁵N 自動分析器（日本分光製、AN-150 型）により ¹⁵N を定量した。

3. 結果および考察

1) 被覆肥料からの窒素の溶出

第 3 図に被覆肥料窒素と硝安系窒素（対照区）の 70 日間の溶脱率を示した。時間の経過に伴って、両区とも CEC の低い土壌ほど溶脱量が多い結果を得たが、いずれの土壌においても被覆肥料区は速効性肥料（硝安系）区に比べ溶脱がかなり抑制された。特に試験開始後 20 日目までに、被覆肥料区の溶脱率は 20% 以下で著しく抑制されていることが明らかである。

次に川砂（山口）と粗粒グライ土（福井）について、19 日と 49 日目の施肥窒素の配分を第 4 図に示した。施肥窒素の有機化量は、施肥による土壌窒素無機化促進量とはほぼ同量である⁷⁻⁹⁾と仮定し、また、脱窒量は施用量から溶脱量、土壌内残存量、被覆肥料内未溶出量を差し引いた値とした。まず CEC の低い川砂についてみると、

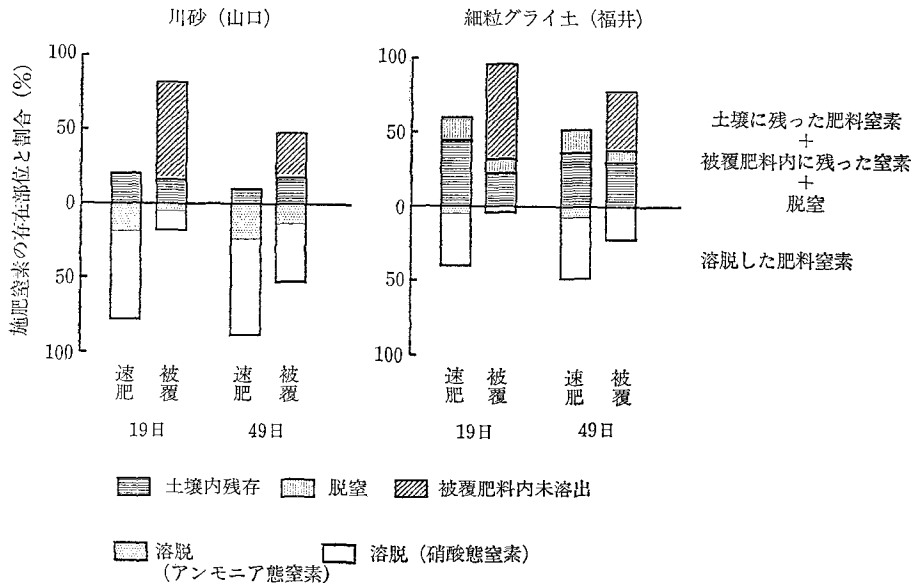


第 3 図 施肥窒素の溶脱

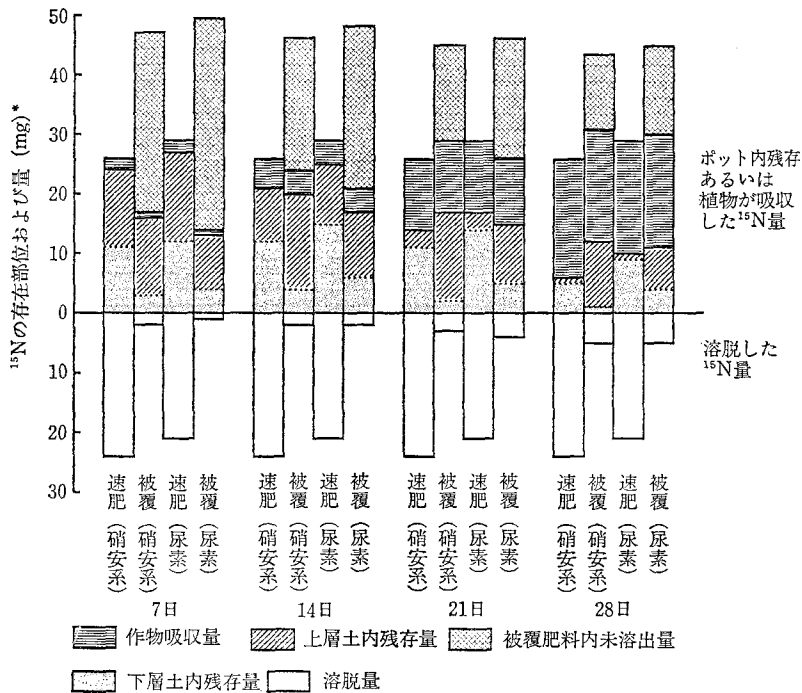
○：川砂，□：礫質黄色土，△：細粒グライ土，◇：粗粒黒ボク土。

土壌中に溶存している窒素量は非常に少なく、速効性肥料区では 19 日目には施肥した窒素の約 80% がすでに溶脱した。49 日目にはさらに溶脱が進み、土壌中にはわずか 15% しか残存していなかった。一方、被覆肥料区では、19 日目までの溶脱は約 19% と抑制されており、急激な溶脱は起こらなかった。49 日目の溶脱量は約 50% で速効性肥料区に比べて少なく、被覆肥料からの未溶出量は約 30% であった。作物栽培の現場を考慮すると、被覆肥料から溶出してくる窒素はかなりの部分が植物に吸収されるため、実際の溶脱量はさらに少なくなるものと考えられる。

CEC の高い細粒グライ土壌では、溶脱は川砂に比べ



第 4 図 施肥窒素の配分



第 5 図 施肥 ¹⁵N の各時期における存在部位およびその量

* ポット内残存量 + 植物吸収量 + 溶脱量 (=ポットに施用した ¹⁵N 量).

少なかったものの、同様の傾向を示した。しかしながら土壌内残存量については、被覆肥料区の 49 日目は 19 日目より増加した。これは、被覆肥料より徐々に窒素が溶出することと、グライ土のアンモニア吸着能が高いことによると思われる。さらにグライ土では脱窒していることが示されたが、その量は被覆肥料の方が明らかに少なく、脱窒抑制の効果も認められた。

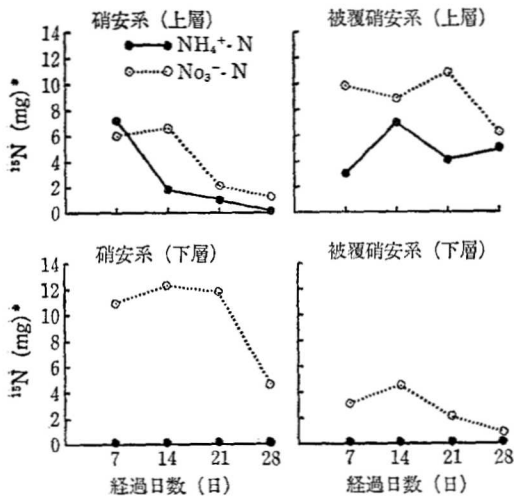
以上の結果、緩効性の被覆肥料は速効性肥料に比べ窒素が徐々に土壌中に溶出することから、溶脱や脱窒が抑制され、環境負荷が少なく、しかも作物に有効利用され易い肥料であるといえる。また年間降水量約 2400 mm という条件下での結果からみると、現実にはさらに少ない溶脱量を示すと推察される。

2) キュウリに対する被覆肥料の効果

第 5 図に施肥窒素の時期別、部位別の推移を示した。本試験においても、前出の溶脱試験と同様に、硝安系、尿素の速効性肥料区はいずれも溶脱量が多かった。一方被覆肥料区における溶脱量は極めて少なく、前出の試験結果よりもさらに抑制される結果となった。これらのことは被覆肥料からの適度な溶出と作物体による吸収で、溶脱がさらに抑制されたものと考えられる。次に作土層に相当する上層土の、施肥した窒素の残存率をみてる

と、速効性肥料区と被覆肥料区間で時間の経過とともに明らかに差が認められた。例えば 14 日目、28 日目を比較すると、速効性肥料区は施肥した窒素の残存率が 16~20 から 4% (8~10 から 2 mg ¹⁵N) に急激に減少しているのに対し、被覆肥料区では 30~22 から 24~14% (15~11 から 12~7 mg ¹⁵N) とやや減少はしているものの施肥窒素の残存量は高く推移した。また下層土の窒素が速効性肥料で高く、被覆肥料で低いことから、下層土への施肥窒素の移行が被覆肥料区で抑制されたことがわかる。こうした傾向は速効性肥料では、尿素に比べ硝安系が大きいが、緩効性肥料ではその差異は認められなかったことから、施肥窒素の下方への移行は、硝安系において特に被覆肥料の抑制効果が認められた。

これらの裏付けとなる土壌部位別の窒素の形態について、その推移をみたのが第 6 図である。速効性肥料区では時間の経過とともにアンモニア態窒素、硝酸態窒素が急激に減少し、硝酸化成をおこしながら下層土へと移行し、28 日目には下層土での残存量も微量で大部分が溶脱した。これに対し被覆肥料区は、作物が吸収しやすい上層土の窒素濃度がアンモニア態窒素、硝酸態窒素とも時間を経過しても高く推移し、下層土の硝酸態窒素も低いことから、適度な溶出と作物の吸収により、下層土へ



第6図 施肥窒素の土壌中での移行
* ポット内に存在する ^{15}N 量。

の移行が抑制されたことが明らかである。

次に作物の時期別窒素利用率をみると(第7図)、一定の期間に溶出した窒素量に対する作物の吸収量から求めた施肥窒素の利用率は、速効性肥料と被覆肥料で対比すると14日目では前者が8~11%に対し後者が15~18%、21日目では25%に対し38%、28日目では40%に対し54%を示し、いずれも被覆肥料区が7~14%高かった。本試験は、生育初期を中心に追跡したが、作物体の吸収が旺盛となる生育後期を含めた全生育期間でみれば、この差はさらに広がること予想される。

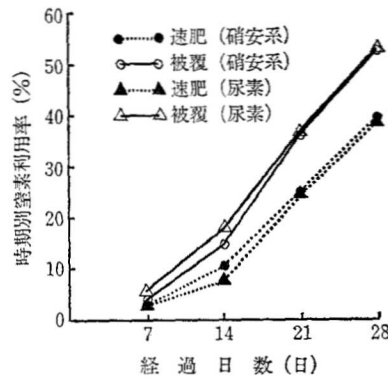
以上、被覆肥料の施用は速効性肥料に比べ、作物に対する効率的な養分供給、作土層での養分保持ならびに溶脱制御に対して極めて効果的であることが示された。

4. 要 約

肥料の集約的施用による地下水汚染を軽減化する方法のひとつに緩効性肥料の利用があるが、本研究では緩効性肥料の一種である被覆肥料の溶脱防止機能を室内モデル試験で確認すると共に、ポット試験で、施肥窒素の植物あるいは土壌での動態を ^{15}N を用いて速効性肥料と比較検討した。

1) 被覆肥料からの窒素の溶出

緩効性肥料、速効性肥料区とも、CECの低い土壌ほど溶脱量の多い結果が得られたが、速効性肥料区に比べ緩効性肥料区は明らかに溶脱が抑制された。特に川砂区では30日後、速効性肥料区(90%)に対し、被覆肥料は35%と著しく抑制された。



第7図 時期別肥料利用率

被覆肥料の利用率は、硝安系、尿素ともその期間までに溶出した肥料量に対する利用率で示した。

2) キュウリに対する被覆肥料の効果

キュウリの初期生育における肥料(^{15}N で標識したもの)の、土壌あるいは作物への挙動を追跡した。その結果、施肥28日後の被覆肥料区は、作土層に相当する上層土に24~14%(12~7mg ^{15}N)の施肥窒素が残存しており、速効性肥料区(4%(2mg ^{15}N))に比べ高く保持された。またこの間の溶脱量は被覆肥料区で10%であり、速効性肥料区(42~48%)の1/4~1/5であった。さらにキュウリによる施肥窒素の利用率は被覆肥料区:54%、速効性肥料区:40%で前者が14%上回った。

文 献

- 1) 早瀬達郎：施肥窒素の溶脱と緩効性肥料(1)、農及園、66, 505~508 (1991)
- 2) 早瀬達郎：施肥窒素の溶脱と緩効性肥料(2)、同上、66, 615~622 (1991)
- 3) 早瀬達郎：施肥窒素の溶脱と緩効性肥料(3)、同上、66, 737~740 (1991)
- 4) KEENEY, D. R.: Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution; in Nitrogen in agricultural soils, ed. M. Stevenson, p. 605~650, American Society of Agronomy, Madison, WI (1982)
- 5) 加賀屋博行・五十嵐太郎・馬場 昂：ケルダール分解・インドフェノール比色法による植物体の全窒素の微量定量法、新潟農林研究、27, 21~25 (1975)
- 6) 土壌標準分析・測定法委員会編：土壌標準分析・測定法、p. 94~116, 博友社、東京 (1986)
- 7) 前田乾一：水田に施用された窒素の行動の定量的評価、農研七研報、1, 121~192 (1983)
- 8) 金田吉弘・関矢信一郎・米山忠克・長野間宏・木方展治：水田土壌における ^{15}N 標識肥料の有機態窒素およびバイオマス窒素への分布、土肥誌、63, 455~458 (1992)
- 9) HANNA, P.: A theoretical explanation of the priming effect based on microbial growth with two limiting substrates. *Soil Biol. Biochem.*, 8, 139~144 (1976)

Moving of Nitrogen from Coating Fertilizer in Soil

Naokatsu SAKATA, Kazuo YAMAMOTO*, Hideo NAKAHARA and Takuya MARUMOTO**
(Central Glass Co., Ltd., *Central Service Co., Ltd., **Fac. Agric., Yamaguchi Univ.)

It is thought that using slow-release fertilizer is one way of reducing groundwater pollution from intensive fertilizer application. We confirmed the effective use of coating fertilizer, which is one of the slow-release fertilizers, in two experiments. The first experiment was eluviation under controlled conditions, and the second was a pot experiment using cucumbers with coating fertilizer marked with heavy nitrogen. The results are summarized as follows.

1. Experimental eluviation
 - 1) Eluviation quantity from readily available fertilizer is greater than from coating fertilizer.
 - 2) Nitrogen quantity in soil of coating fertilizer is greater than of readily available fertilizer.
2. Pot experiment using cucumbers
 - 1) Eluviation quantity from readily available fertilizer is greater than from coating fertilizer. This result is the same as the experimental eluviation.
 - 2) Nitrogen recovery rate to plants for each period is higher in coating fertilizer than readily available fertilizer.
 - 3) In upper soil, the residual quantity of applied nitrogen-fertilizer decreased quickly over time with readily available fertilizer, but it remained at high levels with coating fertilizer.

Key words coating fertilizer, eluviation, groundwater pollution, heavy nitrogen, slow-release fertilizer

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 66, 253-258, 1995)

書 評

Selenium in the Environment

W. T. FRANKENBERGER, JR. and
Sally BENSON 編著

23.5×16 cm, 472 pp., \$ 165.00

ISBN : 0-8247-8993-8

Marcel Dekker, Inc. (New York), 1994 年

セレンは毒性の著しい元素である。土壤中の高濃度のセレンが牧草を経由して家畜に過剰障害を与えた事例が知られている。しかし、1957年にセレンが動物の微量必須元素であることが明らかにされて以降、毒性と有益の両観点からセレン研究が行われており、現在では発ガン抑制に対するセレンの効果等も指摘されている。そのためここ数年来、環境中におけるセレンの挙動等に関心が寄せられている。またセレンは、その電気的・化学的特性を活用して触媒や光電池、複写機等に用途が拡大しつつあり、そのため環境汚染を懸念して水質や土壌の環境基準に新規項目として取り上げられている。

ここに紹介する本書は、こうした状況にまさに時宜を得た出版と思われる。本書にはセレンの、全地球系での循環、動物栄養、土壌への吸着・蓄積、土壌中での形態変化、土壌や地下水中的移動性、土壌・底質・植物体

からのガス状揮散、微生物による代謝・生化学等を論じた論文 17 編が掲載されている。特に土壌・底質・植物体から大気へ移行するガス状セレンについて論じたものが多く、環境中のガス状セレンに関する最新の成果が集約されている。またセレンの環境汚染が問題になっているアメリカ・カリフォルニア州 San Joaquin Valley での研究事例が多く取り上げられている。

本書を土壌・環境問題に携わる方々へ推薦したい。しかし、本書は最新の成果を盛りだくさんに含むためか、基礎的な研究手法に関する記述が少ない。そのため、セレン研究を始めようとする場合には、本書に先立って別の基礎的な文献に目を通し、研究しておくのが望ましい。

前述したように環境中でのセレンへの関心の広がりに伴って、ここ数年セレンに関する単行本が数冊出版されている。以下に筆者の手元にある 2 冊を併せて紹介しておきたい。本書と共に活用されることを薦める。

* M. IHNAT, ed.: "Occurrence and Distribution of Selenium", (1989), (CRC Press, Inc., Florida)

* L. W. JACOBSS, ed.: "Selenium in Agriculture and the Environment", (1989), (American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin)

(京都府立大学農学部 山田秀和)