

---

**Review Article**

---

**農産物ミネラルと人の健康**

渡辺 和彦

兵庫県立農業大学校・東京農業大学

**Minerals contained in crops essential to human health**

Kazuhiko Watanabe

Hyogo Agricultural Junior College

1256-4 Tuneyoshi, Kasai, Hyogo 679-0104

Department of Applied Biology and Chemistry, Tokyo University of Agriculture

1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502

**Abstract**

On comparison of the concentration of elements between plants and humans, there are not significant differences in calcium and iron. However, the concentration of boron in plants is 140 times higher than that in humans, and that of silicon is 35 times higher. High concentrations of boron and silicon are included in agricultural products but not in fish or meat. Therefore, humans depend on vegetables and cereal crops in order to ingest silicon and boron. Since silicon and boron are useful for improving human bone density, it could be considered that the source of a healthy body rests with soil improvement agents and fertilizers used to grow agricultural products. Recently, however, the manganese, zinc and copper contents of the agricultural products in Japan are have decreased. Our research in Hyogo Prefecture has found that compost for organic cultivation alone does not supply elements due to the mechanism of microorganism, thereby reducing the concentration of manganese in plants. It is supposed that copper combines with organic matter and zinc becomes insoluble with phosphorus. Compost contains a lot of these trace elements, but they are not as available as we had expected. Efficient application methods for the trace elements including foliar and seed treatments have already been established. It is important to provide advice that these trace elements need to be applied to growing plants along with compost.

**Keywords:** Minerals in agricultural products, Boron, Silicon, Compost, Foliar application

---

連絡先：渡辺 和彦

〒679-0104 兵庫県加西市常吉町 1256-4

兵庫県立農業大学校

(東京農業大学客員教授)

TEL : 0790-47-1551

FAX: 0790-47-1772

E-mail : kazuhiko@sanynet.ne.jp

---

受付日：平成 21 年 9 月 14 日

受理日：平成 21 年 10 月 27 日

**はじめに**

ヒトの健康とミネラルについて、とりまとめる機会があった[1,2]。そのため、地球上のミネラルについて総括的に概観すべく、資料を整理していると当たり前のことと、同時に意外なことに気がついた。当たり前のことの1つは、私たちが施用する肥料、ミネラルは、土壤に不足するから施用しているのである。当たり前だが、それらがヒトの健康に大切なミネラルであることが、後に紹介する資料からも読み取られた。まさに肥料が作物だけでなく、ヒトの健康に役立っていた。

他の一つは、ヒトが魚や肉類でなく、穀物や野菜、果物などの農作物から摂取するミネラルで最も多いのはホウ素とケイ素である。すなわち私たちが生産する農産物は、両元素を通じてヒトの健康に大きく貢献している。

その働きを調べていて驚いた。ホウ素とケイ素とも多様な作用があるが、両者の共通点の1つはヒトの骨を丈夫にすることである。日本人や中国人は西洋人ほど乳製品を摂取していない。カルシウムの摂取量が少ないにもかかわらず、骨粗しょう症は少ない。草食動物である象や牛は、丈夫な骨を持っている。骨を造るのは、野菜や穀物に含まれるカルシウムやリン、マグネシウムのみならずホウ素やケイ素も重要な働きをしていたのである。本稿では最初に以上の2点に焦点を絞って解説する。

人体に含まれる元素含有率[3]を高い順に並べ、その右に植物体の平均元素含有率[4]を Table 1 に示した。Table 1 の右端に示す作物体/ヒトの比をみると、農産物を食するヒトは、農産物からホウ素、ケイ素そしてマンガンを多く摂取していることが明らかである。

動物で必須と認められている元素でもヒトでは必須と未だ認められていない元素も多い。ホウ素がその一例で、動物での必須性が明らかになったのは1998年のアフリカツメガエルによる実験などで、比較的最近である[5,6]。2002年に藤原徹らが高等生物界で初めてホウ素トランスポーターの遺伝子を同定する[7]と、2004年には同種の遺伝子がヒトでも存在することが明らかになっている[8]。後述するが、ホウ素がヒトの健康に多くの効果があることは、Nielsenら(1991)[9]が早くから指摘しており、海外では多くの研究者がヒトへの健康効果を明らかにしている。したがって、ホウ素がヒトの必須元素として認知されるのは時間の問題であり、WHO(世界保健機関)は大人のホウ素摂取量の安全な範囲を、1日当たり1~

13 mg としている[5]。

各種食品のミネラル含有率[10,11]の代表例を Table 2 に示す。この表からも明らかなように農産物のホウ素、ケイ素含有率は、魚(キハダマグロ)や肉類(ぶたロース)よりはるかに高い。一方、農産物のセレン含有率は低い。すなわち日本の農産物からセレン供給は期待できにくい

Table 1 ヒトと植物体の元素濃度比

元 素	ヒト(生体)	植物体(乾物)	植物/ヒト 比
	ppm		
N	30000	15000	0.50
Ca	15000	5000	0.33
P	10000	2000	0.20
S	2500	1000	0.40
K	2000	10000	5.00
Na	1500	10	0.01
Cl	1500	100	0.07
Mg	500	2000	4.00
Fe	85.7	100	1.17
F	42.8	—	—
Si	28.5	1000	35.09
Zn	28.5	20	0.70
Mn	1.43	50	34.97
Cu	1.14	6	5.26
Se	0.171	—	—
I	0.157	—	—
Mo	0.143	0.1	0.70
Ni	0.143	0.05	0.35
B	0.143	20	139.86
Cr	0.0285	—	—
Co	0.0214	0.1	4.67

注：桜井弘[3]と Epstein *et al.*[4]より作成

Table 2 食品のミネラル含有率

食品名	水分	mg/100g 文部科学省[10]								
		Na	K	Ca	Mg	P	Fe	Zn	Cu	Mn
玄米	15.5	1	230	9	110	290	2.1	1.8	0.27	2.05
精白米	15.5	1	88	5	23	94	0.8	1.4	0.22	0.80
だいず	12.5	1	1900	240	220	580	9.4	3.2	0.98	1.90
ほうれんそう	92.4	16	690	49	69	47	2.0	0.7	0.11	0.32
りんご	84.9	Tr	110	3	3	10	Tr	Tr	0.04	0.03
わかめ	89.0	610	730	100	110	36	0.7	0.3	0.02	0.05
きはだまぐろ	74.0	43	450	5	37	290	2.0	0.5	0.06	0.01
ぶたロース	60.4	42	310	4	22	180	0.3	1.6	0.05	0.01

食品名	水分	μg/100g 鈴木泰夫[11]							
		Al	As	B	Cr	Mo	Ni	Se	Si
玄米	16.4	110	4	140	19	120	14	9	4700
精白米	11.6	110	1	34	9	66	27	4	450
だいず	12.1	580	28	1500	26	200	590	6	1100
ほうれんそう	92.7	970	5	160	11	8	0	0	670
りんご	86.1	21	>	160	3	0	0	0	32
わかめ	92.2	2300	360	200	10	0/	0	4	1900
きはだまぐろ	74.3	79	130	0	13	0	0	81	170
ぶたロース	53.0	160	40	0	36	0	0	37	310

注：> 表示限界以下 0/ 定量限界以下検出限界以上

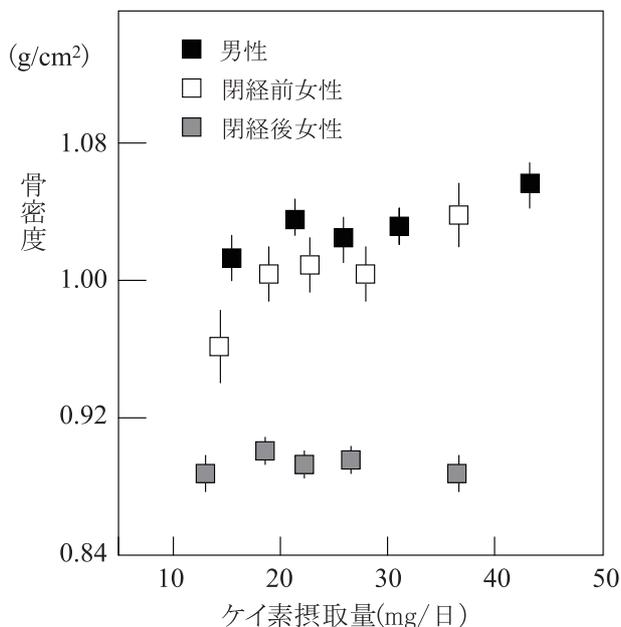
ことがわかる。こうして Table 2 をじっくりとみていると、農産物は、動物の必須元素であるニッケル、モリブデンのみならず、マンガン、銅、亜鉛、鉄などの含有率も意外と高いことがわかる。すなわち農産物はセレンとヨウ素 (Table 2 には示していない) を除く微量元素の重要な供給源である [1]。

## 1 ケイ素とホウ素の人体での作用

### ケイ素はカルシウム以上に骨密度の上昇に重要

骨を丈夫にするためにはカルシウム以上にケイ素が重要であるとの報告が、「フラミンガム子孫研究」より 2004 年になされた [12]。フラミンガム研究は、1940 年代からスタートした長期間の地域コホート研究で、同一地域に住む人を対象に、食生活や血圧、血清脂質等を調べた上で、長期間にわたり健康状態の変化を追跡調査している。高血圧、肥満、喫煙は、心臓病での死亡リスクが高いことを明らかにしたことで有名である。当初の「フラミンガム研究」に参加した人々の子供を対象にした「フラミンガム子孫研究」も 1970 年代より始まっている。今回の成果は「フラミンガム子孫研究」によるもので、米ハーバード大学、英セント・トーマス病院など英米 5 機関の共同による 2,847 人を対象にした調査研究の結果、閉経後女性を除いてケイ素摂取量と骨密度に関連性が認められた (Fig. 1)。

共同研究グループは、フラミンガム子孫研究の参加者 2,847 人 (男性 1,251 人、女性 1,596 人、年齢 30~87 歳) をグループに分け、背骨と大腿骨けい部などの骨密度



**Fig. 1** ケイ素摂取量の骨密度 (骨盤・大腿骨部) への影響  
Jugdaohsingh et al. 2004 [12] より作図  
注: 被験者は、30~87歳の男性1251名、女性1596名。  
ケイ素摂取量は1991~1999年、骨密度は1996~2001年の調査による。

(BMD) を測り食事摂取などによるケイ素摂取量と BMD との関連性を研究した。その結果、男性や閉経前の女性ではケイ素摂取量が多いほど大腿骨頸部の BMD が高い。最もケイ素摂取量が多いグループ (1日 40 mg 以上) は最も少ないグループ (1日 14 mg 未満) と比較して BMD が 10% 近く高いことが判明した。研究結果から男性と閉経前の女性については食事からのケイ素摂取量が多いほど骨密度が高まる関連性が指摘された。Fig. 1 がそのデータの一部である。

当初、このニュースを知った筆者は Fig. 1 の引用をためらった。閉経後の女性にケイ素摂取の効果が無いことをこの図は明確に示している。骨粗しょう症を本当に予防したい多くの高齢の女性に Fig. 1 は希望を与えない。しかし、骨密度増加を年齢の若い内にしておこうとの考え方もある。そうした方々へは非常に参考になる。また、Fig. 1 は、骨密度増加には性ホルモンが関与していることを如実に示している。

しかもケイ素源としてビールの効果が著しいとのことであった [12-14]。コムギのケイ素が醸造過程で可溶性のケイ素になりビール中に多く含まれるためである。確かにそれも事実だろうがどこか欠落している。ビールを飲まないヒトは骨粗しょう症の不安から救われない。穀物にはケイ素が多く含まれるがその可溶化率も知りたかった。同じ著者の過去の文献をみるとやはり研究されていた [15]。それが Fig. 2 である。それによると、ケイ素を高濃度含むミネラルウォーターや緑豆のケイ素可溶化率は高い。調理された玄米のケイ素可溶化率も高い。一方、ケイ素含有率の高いバナナのケイ素可溶化率は低い。理由は不明である。全体として食事摂取ケイ素の約 40% が可溶化して尿中に排出されている。

Fig. 2 のデータの縦軸が尿中ケイ素濃度になっていて、それを食物のケイ素可溶化率の指標としている。その根拠を補足説明する。農産物中のケイ素はオルトケイ酸  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$  の形態で根より吸収されるが、生体内で多量吸収されたオルトケイ酸は重合沈積して存在する。化学的には非晶質の含水ケイ酸  $(\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$  である [16]。大部分は糞便中に含まれて排泄されると考えられていた。しかし、ラットを用いた実験 [17] によると、胃液中の塩酸と反応し、モノマーからポリマーまでの種々の反応物質を生じる。ここでモノマーを生じる割合が高ければ高いほど吸収されやすい。腸で吸収されるケイ酸量は胃で生成したオルトケイ酸の濃度に比例する。胃腸消化系で可溶性になったケイ酸陰イオン  $[\text{オルトケイ酸} \text{Si}(\text{OH})_4 \rightleftharpoons \text{Si}(\text{OH})_3\text{O}^-]$  が血清中に移行する。血清中のケイ素濃度は 2 時間後にはピークになり、その後腎臓を経由し尿へと排出される。3 時間以内に尿からの排出量の 65% 近くが、6 時間以内に 90% 近くが排出される。血液中に存在するケイ素はオルトケイ酸として存在し、タンパク質等の高分子化合物とは結合していない。血清中濃度は血中濃度の約 1/2

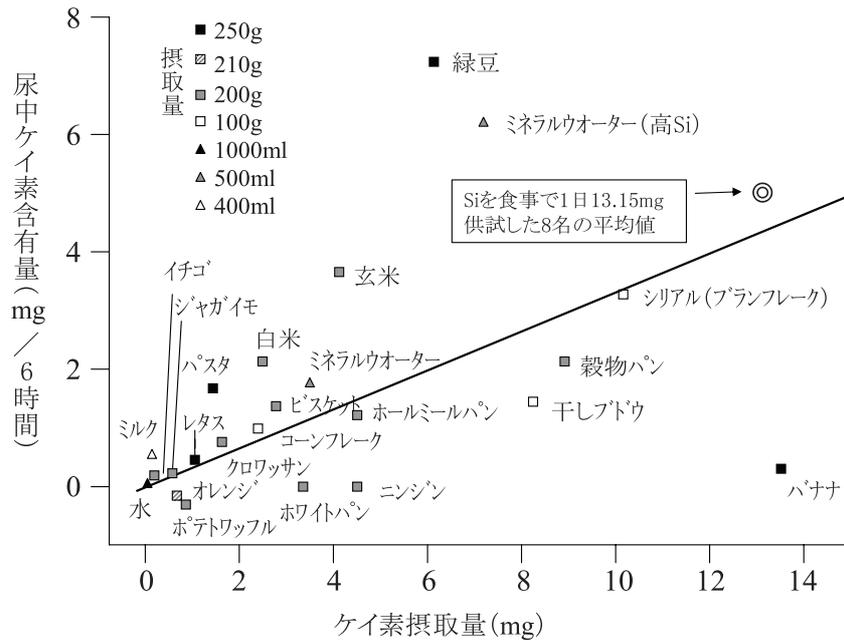


Fig. 2 ケイ素摂取量と尿中ケイ素含有量

Jugdaohsingh et al. 2002[15]より作図

注：摂取量に対して尿中ケイ素量が多いほど、その食品のケイ素可溶性率は高い。尿中ケイ素量を吸収量の指標として利用している。血清中ケイ素は、経口摂取2時間後にピークになり、腎臓を経由し、6時間内には尿より、大部分が排出されるため。

である。そして、ケイ素の血中濃度と尿中排出量の間には相関性が認められている[15]。したがって、尿中ケイ素濃度は体内に吸収される濃度の指標になると考えられている。

ケイ素はムコ多糖類に多く存在し、コラーゲン合成を促進

ケイ素は、体内では、皮膚に最も多く、爪・毛・髪・そして骨に多く存在している。古くから知られているように骨の成長維持にはケイ素が必要だが、皮膚、胸腺なども加齢とともにケイ素含有量が低下し、ヒトの動脈のケイ素含有量も加齢に伴って漸減し、特に「アテローム型の動脈硬化症」では激減すると報告されている。

コラーゲンなどの膠原繊維間にマトリックスとして存在するムコ多糖類にケイ素が多く結合している。胎児の成長、傷の治癒、動脈硬化症や骨肉節炎の治療、あらゆる老化性の退行性疾患にもケイ素は関与している。ケイ素が特に大切なのはムコ多糖類と結び付いていることである。加齢とともに皮膚中のケイ素含有率は減ることが知られているが、どの老化現象にも、ムコ多糖類の著しい減少が伴っている。ケイ素はコラーゲン、ムコ多糖類の炭素骨格に酸素を介して結合している[5,18]。

ケイ素の不足は、動脈硬化の促進、爪の割れ、皮膚のたるみ、脱毛など色々な老化症状にも関係する。一般にホルモンの活動が低下すると、ケイ素の吸収率も代謝回

転も衰えていくようである。

ここでは、コラーゲン合成に関する2003年の研究論文の1つ[19]を紹介する。ヒトの骨芽細胞様の培養細胞を用いた実験で、血液中とほぼ同程度の濃度である10~20 μmol/L濃度のオルトケイ酸存在下でコラーゲンタイプ1の合成量が増加し、非コラーゲン性タンパク質であるオステオカルシンのmRNA合成能を高めていることが確認された。すなわちケイ素はコラーゲンの生成と骨芽細胞の分化を促進する作用がある。

コラーゲンとは、真皮、靭帯(じんたい：骨と骨を繋ぐ結合組織の束)、腱(骨格筋が骨に付着する部分の筋肉)骨、軟骨などを構成するタンパク質で動物の細胞外基質の主要成分で、ヒトでは全タンパク質のほぼ30%を占める。

コラーゲタンパク質のペプチドを構成するアミノ酸は、グリシン-アミノ酸X-アミノ酸Yと、グリシンが3残基ごとに繰り返す一次構造をもつ。タイプ1のコラーゲンは最も大量に存在するコラーゲンで、このXがプロリン、Yにヒドロキシプロリンが多く存在し、分子量は10万程度である。このペプチド鎖が3本集まり、縄をなうようにお互いに巻きついて、らせん構造を形成する。これがさらに少しずつづれてたくさん集まり、より太く長い繊維を作る場合があり、コラーゲン細線維と呼ばれる。骨や軟骨中、皮膚の真皮や腱などにもこのコラーゲン細線維がびっしりと詰まっている。なお、このヒドロキシプロリンを生成するのに前記のプロリン水酸

化酵素が必要である。ビタミンCが補酵素として必要なため、ビタミンCが不足すると正常なコラーゲン合成ができなくなる。

余談になるが、ビタミンC不足はコラーゲン合成ができず壊血病の原因となり、キャプテン・クックの南太平洋探検(1768~1771年)以前の長期航海では多くの船員が死亡したことで有名である。植物は細胞間接着にコラーゲンを用いず、ペクチンを用いている。コラーゲンは動物と一部の原生生物に限られているが、植物におけるペクチンの役割と考えると理解しやすい。そのコラーゲン合成にケイ素が関与していることは非常に興味深い。

ホウ素が閉経後女性の血清中性ホルモン濃度を高く維持し、尿からのカルシウム排出量を低下

ケイ素が骨密度の増加に役立っていることを紹介したが、閉経後の女性には無力であった。しかし、文献を検索していると、閉経後の女性への朗報を見つけることが出来た。助け船を出してくれたのは、果物や野菜に豊富に含まれているホウ素であった。

ホウ素が健康な骨と関節を維持するのに重要な役割を

果たすことは、米国農務省のノースダコタ州にあるグラントフォークス人類栄養学研究センターのNielsenらによって1987年にすでに報告されていた(Table 3)[20]。彼らは閉経後の48歳から82歳の女性13人を対象とした167日間の食事摂取研究を行い、ホウ素を0.25 mg/日と少ない食事をとったときと、その後1日3 mgのホウ素をサプリメントで投与したときのカルシウムとマグネシウムの尿中排泄量を比較したところ、ホウ素摂取は、有意にカルシウムの尿からの排出を抑える。また、骨粗鬆症を含む更年期障害の症状を緩和することで知られているエストロゲンと呼ばれる女性ホルモンを血中に多く存在させる働きがあることを確認している。

実験、調査手法の細かい内容はTable 3の下に書いた。ヒトでの実験で大変な労力と費用がかかっている。供試したホウ素は、4ホウ酸ナトリウム・10水和物( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )のためまさにホウ素の作用である。

ホウ素が骨粗しょう症の予防に役立つ以外に、脳の神経伝達系も活発にするとのこれもまた信頼できる研究データがある[21]。前記と同じ米国農務省の研究であるが50~78歳の閉経後の女性13人での実験や、44~69歳の男性5人それに閉経後の女性でエストロゲン摂取している5

Table 3 ホウ素投与が、尿中ミネラルと血清ホルモン値に及ぼす影響

Nielsen *et al.* (1987) [20]

測定項目	ホウ素投与量と その他処理	低ホウ素				高ホウ素		
		平衡値	基礎食	+Al	+Mg	+Al+Mg	基礎食	+Al+Mg
尿中 Ca g/日		0.126	0.124 A	0.109 AB	0.125 A	0.127 A	0.090 B	0.081 B
尿中 Mg g/日		0.110	0.089 A	0.094 A	0.079 AB	0.095 A	0.074 AB	0.054 B
尿中 P g/日		0.61	0.66 AB	0.61 AB	0.70 A	0.52 B	0.59 AB	0.61 AB
血清 17 $\beta$ -エストラジオール pg/mL		23.9	11.9 A	15.0 A	26.9 AB	12.7 A	35.9 B	37.5 B
血清テストステロン pg/mL		0.60	0.34 A	0.31 A	0.33 A	0.30 A	0.71 B	0.64 B

注：被試験者は、48~82歳の閉経後の女性13名で、試験期間中の167日間は、管理された代謝ユニット内で生活。13名の内一名はエストロゲンを服用しているため、血清ホルモン値の算入からは除外。低ホウ素食事は野菜、果物摂取量を極わずかにした牛肉、豚肉、米、パン、ミルクを含む通常の食事で、ホウ素(B)摂取量：0.25 mg/日、ホウ素以外の不足するミネラル(K, Ca, Cu, Fe)、ビタミンD、葉酸は各々サプリメントで補充している。試験期間は最初の低ホウ素食事馴化期間23日後、24日間試験サイクル(計6回)で、最初の4サイクルでは、ホウ素摂取量は低いまま、Al：1000 mg/日あるいはMg：200 mg/日の摂取試験を実施している。Alは制酸剤の水酸化アルミニウムで、食事からのCaを不溶性にし、便中のCaを増やすとの報告があったため、MgはCa代謝への好影響がすでに報告されているため、その効果確認のため、グルコン酸マグネシウムで試験している。その後2回の試験サイクル(48日間)では、高ホウ素処理の影響を観察している。追加したホウ素3 mgは、 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7/10\text{H}_2\text{O}$ (4ホウ酸ナトリウム・10水和物)で、1日のB摂取量は、3.25 mgになる。

尿中ミネラルは、各試験サイクル~8日の平均値。血清ホルモンは各試験サイクル23日目の平均値。表中ABは、同一文字は有意差( $P>0.05$ )が認められなかったことを示す。

17 $\beta$ -エストラジオール：女性ホルモン、エストロゲンの一種。テストステロン：男性ホルモン、アンドロゲンの一種。これらのホルモンは、骨からのカルシウムの放出を抑えている。男性ホルモンは加齢により急激に減ることはないが、女性ホルモンは閉経によって、最盛期の1/10まで低下し、それに伴い「カルシトニン」の分泌も減り、骨からのカルシウムが減少しやすくなる。

名とエストロゲン摂取をしていない5名の実験などである。一日3.25 mgのホウ素摂取者は0.25 mgの低ホウ素摂取者に比較して、数字や色の記憶力、反応力が高いというデータがある。ホウ素が神経細胞・ニューロン活性を活発にしている。

**2 近年の野菜はミネラル不足、有機物施用の落とし穴 堆肥を施用していたらミネラル補給は大丈夫の考え方はまちがい**

一般的な堆肥に含まれる微量元素含有量と作物が吸収する微量元素量を Table 4 に示す[22]。ホウ素以外の微量元素は10 a 当たり1 tの堆肥施用で十分足りている。したがって、堆肥を施用していればホウ素以外の微量元素は補給しなくても大丈夫と考える農業技術者は多い。

兵庫県のK市のある地域は軟弱野菜の生産地で、永年、畜産農家から入手した堆肥をさらに一年間、米ぬか、モミガラなどを添加し、発酵堆積し、良質な堆肥を自家製造し、それを農地に施用していた。当初5、6年は何ら問題なく、順調に軟弱野菜も生産できていたが、やがて原因不明の各種生育障害がでてきた。

その症状の一つがシュンギクの葉縁部が黄化する、地元の農家が「額縁症」と呼んでいる症状である[23]。この地域の特徴は自分で堆積発酵して作った良質な堆肥であるため、施設への施用量も半端ではない。一年間に10 t/10a以上の施用も普通であった。Fig. 3 に関連試験結果の一部を示す。この地域では堆肥施用を中断したほうが軟弱野菜の収量はむしろ高くなる[24]。

シュンギクの額縁症発生個体はマンガン含有率が少しく、硫酸マンガンの施用で症状は軽減された。しかし、土壌の交換性マンガン含有率とは一定の傾向が認められなかった[23]。そこで、筆者が現地土壌ならびに試験場内の堆肥連用圃場の土壌を用いて、水分状態の異なる条

件で水溶性マンガン、交換性マンガンを測定した。Table 5 に示すように105℃で加熱乾燥した水分0%の土壌では堆肥施用量が多いほど、水溶性、交換性マンガン共に多くなるが、畑状態の水分(25~40%)の土壌では堆肥が多く施用されているほうが水溶性、交換性ともマンガン含有率は低くなっている。微生物活性の指標として、ATP量を測定したが、生土水分状態は、堆肥多量施用区のほうが明らかに微生物活性が高い。微生物が過剰に繁殖してマンガンを不溶化していた[5,25]。

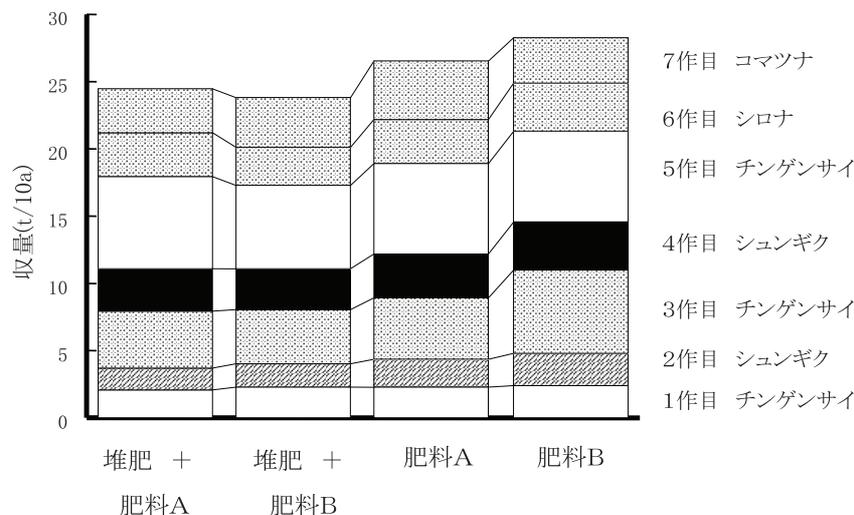
堆肥を施用していて微量元素含有率が低下するのはマンガンだけではない。Fig. 4 に木村武ら[26]の家畜糞堆肥、汚泥等の連用に伴う銅、亜鉛の積算投入量と野菜可食部の銅、亜鉛濃度のとりまとめ結果の一例を示す。筆者達も別途確認している[25]が、銅は有機物を施用すればするほど、作物体への吸収量が低下する。亜鉛の生体内含有率も土壌中亜鉛の積算投入量に比較して、作物体

**Table 4** 作物による微量元素吸収量と堆肥の含有量 (三浦半島の事例)

岡本保(1997)[22]

元素	作物による吸収量(g/10a)			堆肥中含有量(現物1tあたりg)		
	冬ダイコン	春キャベツ	合計	最小	平均	最大
B	32.1	36.9	68.9	2.1	9.1	16.9
Mn	13.3	19.6	32.9	105	137	167
Fe	100.8	100.5	201	148	2430	5902
Co	0.136	0.129	0.265	1.31	2.01	3.37
Ni	0.776	1.89	2.66	2.28	4.5	7.48
Cu	6.68	6.88	13.6	9.9	25.1	69.5
Zn	14.8	21.3	36	52	110	199
Mo	0.397	0.335	0.732	0.44	0.93	1.67

注：堆肥は半島内で利用されている主要な7銘柄 (主に牛糞堆肥)



**Fig. 3** 堆肥施用の有無と軟弱野菜の収量 三好昭宏ら(1999)[24]

**Table 5** 牛糞堆肥施用と湿潤、乾燥処理による微生物活性の変化と可溶性 Mn

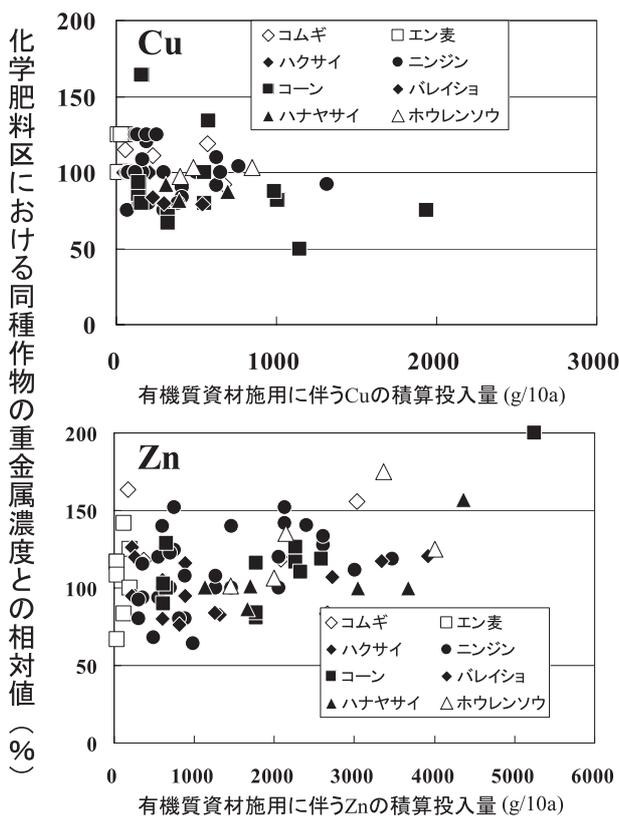
渡辺和彦 (2003) [25]

土壌	処理区	水溶性 Mn mg/kg DW			交換性 Mn mg/kg DW		
		生土	生風乾	熟乾	生土	生風乾	熟乾
場内堆肥連用 試験土壌	無堆肥	0.12	1.87	4.38	1.61	5.72	19.95
	堆肥 1t	0.11	1.75	6.12	0.99	6.12	24.65
	堆肥 3t	0.07	0.75	7.08	0.93	4.19	31.20
現地 Mn 欠発生 堆肥連用土壌	乾燥前処理	1.57*	0.37	6.82	6.11*	0.84	20.85
	湿潤	0.08	0.15	6.24	0.41	0.32	17.25

土壌	処理区	ATP nmol/g soil DW			水分%		
		生土	生風乾	熟乾	生土	生風乾	熟乾
場内堆肥連用 試験土壌	無堆肥	0.33	0.03	0.01	25.5	3.0	0
	堆肥 1t	0.76	0.06	0.00	26.7	4.7	0
	堆肥 3t	1.55	0.14	0.02	38.9	10.2	0
現地 Mn 欠発生 堆肥連用土壌	乾燥前処理	0.07*	0.67	0.02	5.3*	16.7	0
	湿潤	1.17	0.21	0.02	33.4	12.8	0

注：\*は長期間風乾していたものを測定。湿潤処理 10 日後を生土、その後室内で 1 週間放置乾燥したものを生風乾、105℃にて乾燥したものを熟乾とした。



**Fig. 4** 家畜ふん堆肥、汚泥等の連用に伴う Cu、Zn の積算投入量と野菜可食部に Cu、Zn 濃度  
木村武ら (2007) [26]

の亜鉛含有率上昇はそれほどではない。詳しくは総説 [5,25,27]などに記載しているが、注意すべきことは堆肥を施用していれば、微量元素不足は生じないと断定できないことである。少なくとも微量元素不足土壌への有

機物施用による作物の微量元素含有率向上効果は期待できないことが多い。

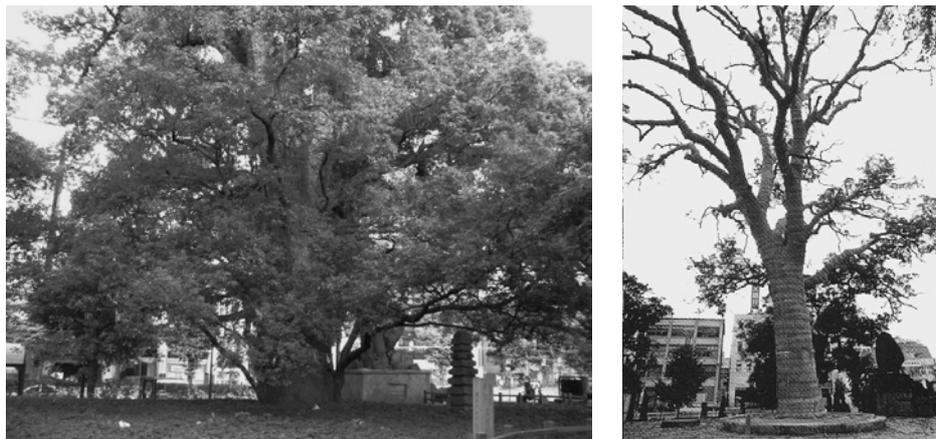
### 3 効果的なミネラル補給法はすでにある

#### 一よみがえったクスノキの事例から学ぶ

熊本市の樹齢 700 年から 800 年のクスノキが 1973 年、ハラハラと葉を落とし、ついには枯れ死んでしまうかという事態になった (Fig. 5 右)。市民も心配し、園芸業者や学識経験者が手をつくしたが翌年になっても回復しなかった。そこでエーザイ生科研の中嶋常允が市役所の公園課を訪ね、1974 年 5 月上旬に土壌調査後、クスノキの周辺 60 か所に深さ 50 センチの穴をほって、土壌改良材と 12 種の栄養素を注入した。新聞記者の見守る中での作業である。すると 10 日後には古木の幹の下のほうからも若芽がでだした [28]。筆者は 2004 年にその木を見たが、枯死しそうになった古木とは想像もつかないほど現在は大きく豊かに茂っている。

枯死しそうになった巨木の回復技術は、ノウハウである。成功事例はなにも前記だけではない [28]。筆者は 2009 年 4 月に 5 年ぶりにエーザイ生科研 (株) を訪問し、どのような資材を使用して回復させたかを教えていただき、中嶋大地現会長から執筆許可をいただいた。誰もが知りたい技術であるが、執筆すると専門家ならすぐに真似できる。中嶋農法を実施しているエーザイ生科研 (株) には不利益であるが、すぐれた技術は多くの人に知らせたいとの筆者の執筆姿勢は理解いただいている。

ポイントは 3 つあった。1 点は土壌理化学性改良液肥、商品名：キッポ青の利用である。三要素だけでなく、土壌を膨軟にする高分子凝集剤と分散作用のあるポリリン酸が入っている。キッポの名前の由来は吉報とのことだ。



**Fig. 5** よみがえったクスノキ(左)と昭和48年枯死寸前の状態(右)  
注：左は平成16年筆者撮影、右は熊本日日新聞より

2点目は土壌分析に基づく微量元素補給で、液体微量元素複合肥料、商品名：メリットMの施用。3点目はクエン酸、リンゴ酸等の有機酸を約25%含む根の活力剤、商品名：新チャンス液の施用で微量元素が植物根に吸収されやすくなる。以上の3資材をクスノキの巨木の周辺60カ所に注入していた。注入には同社の液肥注入器キッポエアー灌注機を使用している。

筆者はクエン酸については、最近知ったことだが、古くは大塚化学(株)などが特許をとっていた。近年ではサントリー(株)と大阪市大が共同開発した地下街での観葉植物の栄養剤、プラントサプリにショ糖と共にクエン酸が高濃度入っている。ポトスの実験では無機栄養液に5 mM (0.096%)クエン酸と1.5%スクロースを加えてpH 5に調整したプラントサプリ(施用濃度表記)では葉が枯れなかったそうだ。クエン酸施用濃度0.3 mM (0.0058%)でも効果があったとの事例もある[29]。2008年発売になった多木化学(株)のカリ液肥、商品名：カリショットにも22%のクエン酸が含まれている。クエン酸の共存で、リン酸や微量元素の吸収も促進されるのが特徴である。ここでは利用されていないが、中嶋農法の特徴は葉面散布剤も活用する。しかし、葉面散布剤の効果を知らない農業技術者も多い。

そこで、Table 6に鉄5 ppm、マンガン25 ppm、亜鉛25 ppmを葉面散布した場合の上位葉の各元素の葉中含有率の上昇事例を示す。亜鉛、マンガンの含有率増加が著しい[30]。堆肥を施用した土壌中にはすでに多くの微量元素が含有されている。しかし、マンガンは微生物、銅は有機物、亜鉛は過剰のリン酸存在下で不溶化している。そのため土壌へのこれら微量元素の多量補給は好ましくない。種子浸漬や葉面散布は有効な補給手段になる。

#### 4 ミネラル補給で農産物・人はどう変わるか

マンガンは油脂栄養に関与

堆肥の過剰連用によって作物体のマンガン含有率が低

**Table 6** 葉面散布開始時期・回数で葉中の元素含有率に及ぼす影響(オリエンタル系ユリ)

糸川修司ら(2005)[30]

散布開始時期	散布回数	Fe	Mn (ppm)	Zn
発蕾前	2回	38	11	11
	4回	48	14	15
	6回	57	21	32
発蕾期	2回	45	14	14
	4回	54	20	32
	6回	77	43	54
発蕾後	2回	52	16	28
	4回	81	44	58
	6回	85	52	74
無処理		42	10	9

注：品種はカサブランカ、分析部位は第一花蕾直下の葉から上位の葉。表示は乾物当たり。

下し、2の冒頭に示したシュンギクのように外観的に生育障害症状を示すのはまれな事例で、通常は微量元素含有率が低い程度である。筆者の危惧しているのは、それが病害虫被害増加の原因になったり[5,27]、農産物品質劣化の要因になるためである。品質劣化の一例として、つぎにマンガンと油脂栄養の関係を説明する。

筆者がマンガンと油脂栄養の関係を知ったのはマーシュナーの図書[31,32]からである。Fig. 6左に示すように、葉のマンガン濃度が低下すると収量や子実油含有率(%)が低下するが、Fig. 6右に示すように子実中のオレイン酸含有率が低下しリノール酸含有率が上昇する。ただ、この図の示す重要性を理解するには脂質に関する知識が必要である。奥山治美が農業雑誌にやさしく解説しているが、リノール酸の摂りすぎは健康に良くない[33]。またリノール酸より $\alpha$ -リノレン酸摂取量が多い方がよい。マンガンが $\alpha$ -リノレン酸含有率にも影響するとの事例を

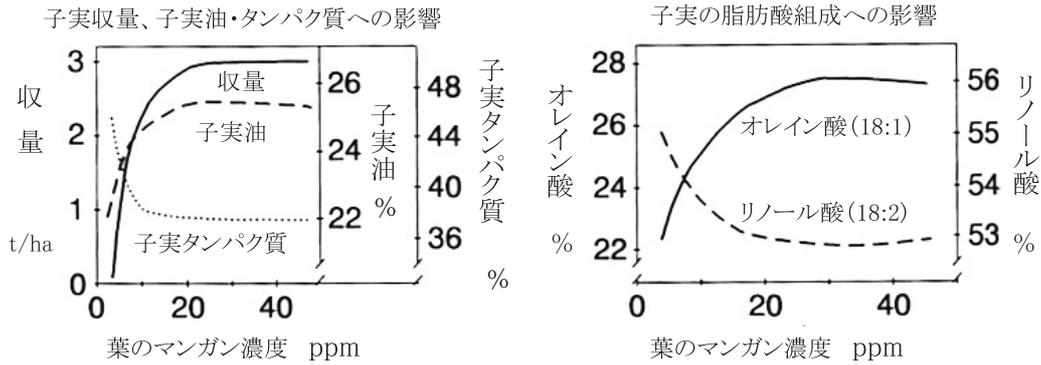


Fig. 6 ダイズの葉中 Mn 濃度と収量、脂質品質への影響

Wilson et al. (1982) [32]

Table 7 に示す[34]。マンガンが脂質代謝に関与していることは植物栄養関係者にはまだほとんど知られていない。しかし、海外ではマンガン施用によりキャノーラの油脂含有率が增加するとの生産現場の試験結果もある[35]。マンガンの基礎的文献情報も含め詳しくは筆者の図書に記載している[36]。

筆者は堆肥の施用抑制を推奨しているのではない。堆肥は土壌の物理性の改善、地力窒素の増強など、多くの長所がある。堆肥を施用していても微量元素を補給する必要があることを知ったのである。総説[27]でも紹介しているのだが、フランシス・シャブスー著、中村英司訳『作物の健康』の図書[37]196頁2行目から原文のまま引用すると、「有機物の多い土壌でもチッ素、リン酸、カリに加えて銅、モリブデン、亜鉛などの微量元素を添加することによって生産力の高い水田に変わることが知られている(キデー、1978)」このキデーのオリジナル論文を筆者はまだ入手できていない。しかし、こうした観点からの堆肥と微量元素に関する検討が日本国内でも必要と考えている。なお、病害対策についても同様のことが述べられている。同書、199頁15行目「いもち病菌の胞子に汚染されていても…土壌のなかにマンガンが18 ppm、銅が2 ppm 程度含まれていれば、イネは健康に生育することがみとめられた」。後者に関する類似の研究は日本国内でも過去にされていた[36]。

中嶋農法の活用例：静岡のお茶と福島県西会津町の事例

中嶋農法の最近の農業生産現場での活用例を一部紹介する。静岡県掛川市の中山茶業組合は、中嶋農法を採用し、平成20年度全国茶品評会深むし煎茶10kgの部で農林水産大臣賞を受賞している。そして、日本コカ・コーラ(株)は、そのお茶を20%使用し、中嶋農法によるペットボトル茶、一(はじめ)茶織り(さおり)として全国で販売している。

エーザイ生科研(株)のデータによると、茶園の土壌は、地表10cmまでは微量元素含有率はむしろ高いくらいであるが、30cm、50cm、70cmと深くなるに従い、亜

Table 7 マンガン濃度がユーグレナの生育と脂質組成に及ぼす影響

	Constantopoulos (1970) [35]より抜粋			
	培養液中マンガン濃度 $\mu\text{M}$			
	0	$9 \times 10^{-3}$	$9 \times 10^{-2}$	9
増殖量：8日後の750m $\mu$ 吸光度	0.25	0.67	0.90	0.90
全脂質( $\mu\text{g}$ )	135	154	160	157
クロロフィル( $\mu\text{g}$ )	6.5	9.8	14.5	15.2
脂肪酸%(全メチルエステル中w/w)				
パルミチン酸	13.3	19.0	21.2	20.8
ステアリン酸	1.5	2.7	2.2	1.6
オレイン酸+ルーハニン酸	10.4	18.6	17.2	17.2
リノール酸	3.9	4.8	7.8	8.2
$\alpha$ -リノレン酸	4.1	7.0	9.4	14.3

鉛、マンガン、ホウ素などの微量元素は不足傾向にある。そこで、茶樹の側に穴を掘り前記の方法で微量元素などを灌注すると、4月の芽のびが早くなり、一番茶はこれら微量元素含有率が高くなるだけでなく、テアニンをはじめとしたアミノ酸含有率が高くなっている。

また中嶋農法を活用し、県内でも平均寿命が最下位であった町が長寿の町に変わりつつある福島県西会津町の事例もある[38]。中嶋農法によるミネラル野菜栽培を平成10年から町全体に推進しはじめた当時、赤字だった国民健康保険の財政が平成15年には3億5000万円の黒字に転換し、平成13年度には町民一人当たりの年間医療費も全国平均を下回り、保険料負担額が全国平均7.9万円のところ、西会津町では5.7万円(平成15年度は4.3万円)にまで軽減され、町民の健康に寄与している[39]。もちろんそれはミネラル野菜栽培の効果だけではなく保健・医療・福祉を連携したトータルケアのまちづくりの成果であると思う。しかし、ミネラル野菜を学校給食で利用するだけでなく、地域の高齢者にできるだけ学校給食を食べていただく機会を作っているとのことをお話しをお聞きすると、栄養バランスの管理された学校給食の長所も活用された、まさに食による健康管理の実践で見習うべ

きことも多い。こうした中嶋農法の長所を活用した健康な町づくり運動に続こうとしている自治体に福岡県うきは市[40]などがある。

## 5 おわりに

ケイ素は、水稻には効果が顕著なことから、世界に先駆けてわが国では1955年からケイ酸質肥料と指定され[16]、広く農家に利用されている。ホウ素も農産物生産には必須であり、肥料としても古くからマンガンと共に認められ、少なくともダイコンやハクサイなどアブラナ科野菜には農家は積極的に施用している。そのホウ素が永年、植物だけに必要で動物には不要と考えられていた。2004年ヒトにもホウ素のトランスポーターがあることが明らかとなり、ヒトでのホウ素の必要性も証明されつつある。そこではじめて、私たち農業関係者は、農産物ミネラルがヒトの健康に関与していると誇りと責任を感じることができるようになった。

一方、近年は家畜糞堆肥など有機物の農地施用が盛んである。堆肥には各種微量元素が多く含まれている。そのため微量元素については油断していた。ところが有機物施用は必ずしも作物体の微量元素含有率を高めない。場合によっては作物への吸収量が低下することを筆者達は明らかにした。作物体の潜在的ミネラル不足は病害虫被害を受けやすい。また農産物は摂取するヒトの健康に関係する。倉澤隆平医師が明らかにした亜鉛不足による高齢者の食欲不振、舌痛、褥瘡、元気のなさ[41]など、ミネラルを専門とする土壤肥料研究者は無関心ではられない[42]。

微量元素の効率的な作物への補給法は中嶋常允がすでに明らかにしている。しかし、その技術はほとんど一般化していない。民間農法の一つとして農業分野の公的試験研究機関が追試を行っていないためである。根際に穴を掘っての微量元素の灌注、ポリリン酸やクエン酸、葉面散布の活用、そしてそれらの農産物品質への効果など、中嶋農法のもつ長所を学術的にも明らかにし、一般化する必要がある。

## 引用文献

- 1) 渡辺和彦：土壤中ミネラルと農産物。糸川嘉則編：ミネラルの科学と最新応用技術，シーエムシー出版，東京，2008，194-211.
- 2) 渡辺和彦：ミネラル管理の重要性・作物と人の健康。食と健康・予防医療を考える—ミネラルと油脂栄養の重要性，土肥学会愛知大会公開シンポジウム資料：47-82，2008.
- 3) 桜井弘：生命元素事典，オーム社，東京，2006，3.
- 4) Epstein E and Bloom AJ: Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd Ed, Sinauer, MA, 2005, 50-52.
- 5) 渡辺和彦：作物の栄養生理最前線—ミネラルの働きと作物，人間の健康，農文協，東京，2006，1-71.
- 6) Fort DJ, Propst TL, Stover EL, Strong PL, Murray FJ: Adverse effects of insufficient boron in *Xenopus*. Biol. Trace Elem. Res. 66 : 237-259, 1998.
- 7) Takano J, Noguchi K, Yasumori M, Kobayashi M, Gajdos Z, Miwa K, Hayashi H, Yoneyama T, Fujiwara T: Arabidopsis boron transporter for xylem loading. Nature 420 : 337-340, 2002.
- 8) Park M, Li Q, Shcheynikov N, Zeng W and Muallem S: NaBC1 is a ubiquitous electrogenic Na<sup>+</sup>-coupled borate transporter essential for cellular boron homeostasis and cell growth and proliferation. Mol Cell 5 : 331-341, 2004.
- 9) Nielson FH, The saga of boron in food : from a banished food preservative to a beneficial nutrient for humans. Curr Top Plant Biochem Physiol 10 : 274-286, 1991.
- 10) 文部科学省資源調査分科会報告：五訂増補日本食品標準成分表，2005.
- 11) 鈴木泰夫：食品の微量元素含量表，第一出版，東京，1993.
- 12) Jugdaohsingh R, Tucker KL, Qiao N, Cupples LA, Kiel DP : Dietary silicon intake is positively associated with bone mineral density in men and premenopausal women of the Framingham Offspring cohort. J Bone Miner Res 19 : 297-307, 2004.
- 13) Bellia JP, Birchall JD, Roberts NB : Beer : A dietary source of silicon. The Lancet 343 : 235, 1994.
- 14) Sripanyakorn S, Jugdaohsingh R, Elliott H, Walker C, Mehta P, Shoukru S, Thompson RPH and Powell JJ : The silicon content of beer and its bioavailability in healthy volunteers. Br J Nutr 91: 403-409, 2004.
- 15) Jugdaohsingh R, Anderson S HC, Tucker KL, Elliott H, Kiel DP, Thompson R PH, Powell JJ : Dietary silicon intake and absorption. Am J Clin Nutr 75: 887-893, 2002.
- 16) 高橋英一著：作物にとってケイ酸とは何か。農文協，東京，2007.
- 17) Yokoi H and Enomoto S : Effect of degree of polymerization of silicic acid on the gastrointestinal absorption of silicate in rats. Chem Pharm Bull 27:1733-1739, 1979.
- 18) 千葉百子，鈴木和夫編：健康と元素—その基礎知識，南山堂，東京，1996.
- 19) Reffitt DM, Ogston N, Jugdaohsingh R, Cheung HF, Evans BA, Thompson RP, Powell JJ, Hampson GN: Orthosilicic acid simulates collagen type 1 synthesis and osteoblastic differentiation in human osteoblast-

- like cells in vitro. *Bone* 32: 127-135, 2003.
- 20) Nielsen FH, Hunt CD, Mullen LM, Hunt JR : Effect of dietary boron on mineral, estrogen, and testosterone metabolism in postmenopausal women, *FASEB J* 1: 394-397, 1987.
- 21) Penland JG: Dietary boron, brain function, and cognitive performance. *Environ Health Perspect* 102: 65-72, 1994.
- 22) 岡本保：野菜の吸肥パターンを配慮した環境にやさしい施肥設計— 神奈川県三浦半島における土づくりと施肥の事例. *畜産環境情報* 28: 28-32, 2005.
- 23) 永井耕介・大塩哲視・小河甲・吉倉惇一郎：シュンギク額縁症の発生原因とその対策. 平成13年度近中四農研成果情報 134, 2001.
- 24) 三好昭宏・桑名健夫・西口真嗣・牧浩之：施設軟弱野菜における減有機資材および減肥料栽培が土壌・作物体に及ぼす影響. *兵庫農研報* 47: 26-31, 1999.
- 25) 渡辺和彦：有機物施用の注意点と有機重視による弊害. *季刊肥料* 96号: 15-29, 2003.
- 26) 木村武・石岡巖：有機質資材施用における微量元素等の土壌中動態と野菜による吸収特性の解明. *プロジェクト研究成果* 454: 118-121, 2007.
- 27) 渡辺和彦：有機物多量施用が引き起こすミネラル不足と病虫害被害. *農業技術大系, 土肥編, 第7-①巻, 資材*: 64の108-117, 2005.
- 28) 中嶋常允：食べもので若返り, 元気で百歳— 生命はミネラルバランス, 地湧社, 2000.
- 29) 平澤栄次：貧光下の植物のためのプラントサプリ. *化学* 60(10): 68-69, 2005.
- 30) 糸川修司・北村明久：オリエンタル系ユリのまだら症の発生要因と軽減対策. *高知農技セ研報* 14: 47-56, 2005.
- 31) Marschner H : “Mineral Nutrition of Higher Plants” 2nd ed., Academic Press, London, 1995.
- 32) Wilson DC, Boswell FC, Ohki K, Parker MB, Shaman LM, Jellum MD : Changes in soybean seed oil and protein as influenced by manganese nutrition. *Crop Sci* 22: 948-952, 1982.
- 33) 奥山治美：油を上手にとらないとガン, アレルギー, 成人病が増える— 高リノール酸食事をやめよう. *現代農業* 平成5年4月号: 112-117, 1993.
- 34) Constantopoulos G: Lipid metabolism of manganese-deficient algae. *Plant Physiol* 45: 76-80, 1970.
- 35) Bybordi A, Malakouti MJ : Effects of rates of N and Mn fertilizers on the yield and quality of two winter varieties of canola in region of East Azarbayjan. *The Joint Agri and Natural Resources Symposium, Tabriz-Ganja* : 1-16, 2004.
- 36) 渡辺和彦：ミネラルの働きと作物の健康. 農文協, 東京, 2009.
- 37) フランシス・シャブスー, 中村英司訳：作物の健康. 八坂書房, 東京, 2003.
- 38) 福島県西会津町：「百歳への挑戦」トータルケアのまちづくり. (株)財界 21, 福島, 2003.
- 39) 織田久男：健康づくりに欠かせぬ微量ミネラル. 食と健康・予防医療を考える— ミネラルと油脂栄養の重要性, 土肥学会愛知大会公開シンポジウム資料: 33-46, 2008.
- 40) 福島県うきは市：広報うきは. 7月15日号, 2007.
- 41) 倉澤隆平・久堀周治郎・上岡洋晴・岡田真平・松村興広：長野県北御牧村村民の血清亜鉛濃度の実態. *Biomed Res Trace Elements* 16: 60-64, 2005.
- 42) 渡辺和彦：作物も人間も元気にする肥料・ミネラルの1事例— 亜鉛. *季刊肥料* 107号: 17-25, 2007.