

Ⅲ 土と健康；コメや野菜が骨をつくり、ボケを防ぐ

東京農業大学客員教授 渡辺和彦

1 はじめに

土からできる農産物、米や野菜が骨をつくり、ボケを防止してくれている。ヒトの生体中に含まれる元素濃度を高い順に、その横に植物体濃度を表1に示した。そして、植物/ヒトの比を右端に示したが、ホウ素が最も高く、次いでケイ素である。すなわち、ヒトが農産物を食べるということは、ホウ素とケイ素を摂取することと言っても過言ではない。

表1 ヒトと作物体の元素濃度比

元素	ヒト (生体)	植物体 (乾物)	植物/ヒト 比	元素	ヒト (生体)	植物体 (乾物)	植物/ヒト 比
	ppm				ppm		
N	30000	15000	0.50	Zn	28.5	20	0.70
Ca	15000	5000	0.33	Mn	1.43	50	34.97
P	10000	2000	0.20	Cu	1.14	6	5.26
S	2500	1000	0.40	Se	0.171	—	—
K	2000	10000	5.00	I	0.157	—	—
Na	1500	10	0.01	Mo	0.143	0.1	0.70
Cl	1500	100	0.07	Ni	0.143	0.05	0.35
Mg	500	2000	4.00	B	0.143	20	139.86
Fe	87.5	100	1.14	Cr	0.0285	—	—
F	42.8	—	—	Co	0.0214	0.1	4.67
Si	28.5	1000	35.09				

注:ヒトの元素濃度は桜井(2006)、植物体はEpsteinら(2005)による

ホウ素は長い間、植物には必須であるが動物には不要とされていた。ところが、Takanoら(2002)が生物界で初めて、ホウ素トランスポーターの同様にシロイヌナズナで成功すると、それを契機に Parkら(2004)がヒトでも同種のトランスポーターが存在することを報告した。すなわち、ホウ素は後に紹介するヒトの脳の活性化とともに、遺伝子的にも必須の働きをしていた。ケイ素は高橋(1987)がすでに紹介しているように 1972年にヒヨコで骨形成に重要な役割をしていることが認められ、すでに動物では必須元素とされている。ケイ素は土壤中に酸素に次いで多く存在し、どこにでもある元素である。まさかケイ素不足がヒトでも存在し、骨形成に影響しているとは誰もが考えつかなかった。

2 野菜、果物、穀物が骨密度上昇に効果

骨粗しょう症は、高齢化社会における世界共通の重要疾患である。アメリカやイギリスでは詳細な食事摂取調査を基に骨密度への影響を調べる疫学研究が盛んである。表2はスコットランドでの45～49歳の閉経前女性994名の結果である。カルシウム以上に、カリ

表2 各種食事成分と腰椎骨密度の関係(注1)

成分	New et al. (1997)	
	相関係数	偏相関係数(注2)
エネルギー(kj)	0.02	
タンパク質(g)	0.03	
カルシウム(mg)	0.06 *	0.03
繊維(g)	0.08 **	0.03
カリウム(mg)	0.11 ***	0.07 *
マグネシウム(mg)	0.10 ***	0.06 *
亜鉛(mg)	0.05	
ビタミンC(mg)	0.10 ***	0.07 *
アルコール(g)	0.11 ***	0.08 **

注1: スコットランドで1990～1992年に実施された骨粗鬆症スクリーニングプログラム参加者、45～49歳の閉経前女性994名対象にとりまとめ。

*: P<0.05, **: P<0.01, ***: P<0.001

注2: エネルギー摂取量、年齢、体重、喫煙等の影響を補正して計算

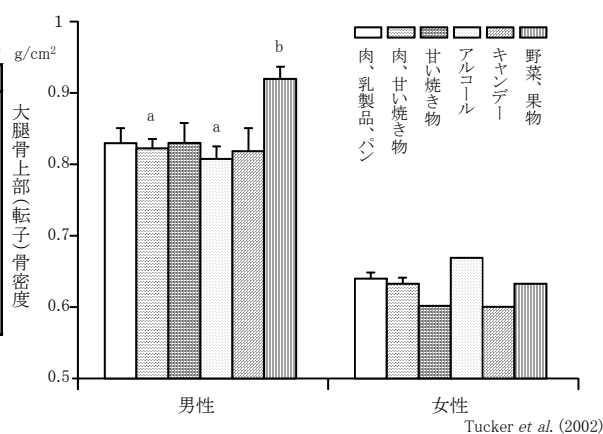


図1 摂取量の多い食べ物と骨密度の関係

注: フランシム研究による。69歳～93歳の男女907名

表3 アルコール飲料のケイ素、ホウ素などの含有率

	可食部100g当たり						
	水分(g)	Si(μ g)	B(μ g)	水分(g)	K(mg)	Mg(mg)	Ca(mg)
ビール(黒)	90.7	240	6	91.6	55	10	3
ビール(淡色)	91.2	91	3	92.8	34	7	3
ぶどう酒(白)	86.6	93	200	88.6	60	7	8
ぶどう酒(赤)	87.4	0/	140	88.7	110	9	7
清酒(特級、本醸造)	77.4	32	4	82.8	5	1	3
清酒(1級、上撰)	79.1	94	3	82.4	5	1	3
梅酒	72.1	0/	11	68.9	39	2	1
出典	鈴木泰夫(1993)			文部科学省(2005)			

ウムやマグネシウム、ビタミン C の摂取量が骨密度上昇に關与している。何よりも注目すべきはアルコール飲料の摂取はそれら以上に骨密度への影響が大きいことである。

図1は、疫学研究で60年あまりの歴史をもつマサチューセッツ州フラミンガムの69～93歳男女907名の研究結果である。男性では野菜、女性ではアルコール飲料の摂取が多いグループの骨密度が高い。ビール、白ワインにはケイ素、ワインにはホウ素も多い(表3)。

フラミンガム子孫研究から2004年にケイ素摂取量が骨密度上昇に大きく影響しているとの結果が公表された。図2はその要点をまとめたものである。男性や閉経前の女性ではケイ素摂取量の効果が顕著である。しかし、閉経後の女性には無力であった。これに助け船を出してくれたのがホウ素である。後に紹介する。

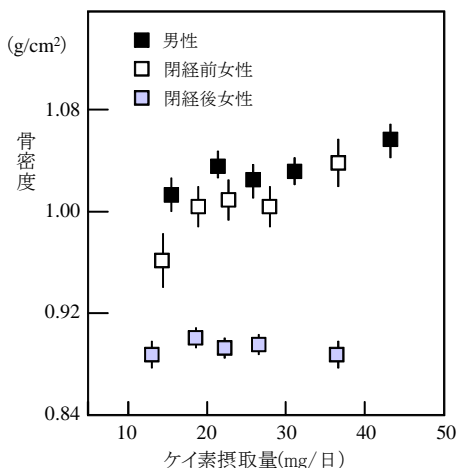


図2 ケイ素摂取量の骨密度(骨盤・大腿骨部)への影響

Jugdaohsingh *et al.* (2004) 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。

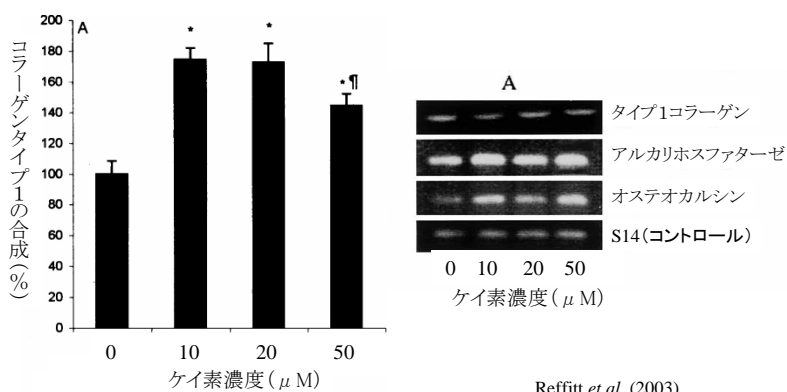


図3 骨芽細胞におけるケイ素濃度のコラーゲンタイプ1の合成量ならびにmRNA発現量への影響

注:血漿中のSi濃度は、絶食時 2～10 μ M、食事後 20～30 μ M

ケイ素は図3に示すようにタイプ1コラーゲン合成を活性にする。骨を建築物にたとえると、コラーゲンは鉄骨で、カルシウムやリン、マグネシウムはセメントのようなものである。図3右にケイ素添加により非コラーゲン性タンパク質、オステオカルシンの mRNA の生成

量が増加しているがオステオカルシンは針金のようなもので、カルシウムと直接結合する。骨粗しょう症対策にビタミン K 服用の効果が認められている(石見 2010)。オステオカルシンは骨芽細胞のビタミン K 依存性カルボキシラーゼによって、タンパク質のグルタミン酸残基に炭酸イオンが付加され、カルシウムとの結合能力を獲得している。

各種食品のケイ素の可溶化率も同じフラミンガム研究グループで調べられている。試験前日の夜10時から絶食し、膀胱を空にし、朝9時に図4に示された食品一品だけを摂取

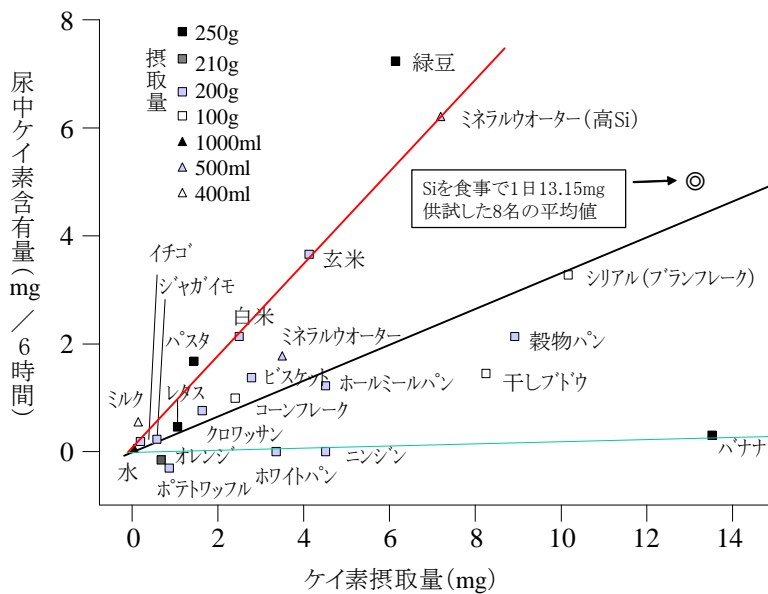


図4 ケイ素摂取量と尿中ケイ素含有量 Jugdaohsingh *et al.* (2002) より作図

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化率は高い。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。

し、その後6時間は低ケイ素含有の水だけを0.5L/3時間のペースで飲むだけ。1つの食品に少なくとも2人、通常は3人で2回の繰り返し実験で得られたデータである。全食品の平均可溶化率は約40%で、緑豆のケイ素可溶化率が最も高いが、玄米、白米がそれに次ぐ。理由は分からないが、バナナ、ニンジンなど果物、野菜のケイ素可溶化率

が低い。コメのケイ素可溶化率が高いのは我々日本人にとってはうれしい。イネはケイ素を窒素以上に多く吸収する。日本では古くから、ケイ酸質肥料を毎年イネに施用している。

表4 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)

測定項目	ホウ素投与量 とその他処理	低ホウ素(0.25mg/日)				高ホウ素(3.25mg/日)		
		平衡値	規定食 のみ	Al 追加摂取	Mg 追加摂取	AlとMg 追加摂取	規定食	AlとMg 追加摂取
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 17β-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1: 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:0.25mg/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:1000mg/日あるいはMg:200mg/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、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3mgは、Na₂B₄O₇/10H₂O(4ホウ酸ナトリウム・10水和物)で、1日のB摂取量は、3.25mgになる。

注2: 尿中ミネラルは、各試験サイクル7~8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。平衡値は平衡実験開始後、7~9日目の被験者13名の平均値。

注3: 17β-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。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、破骨細胞の働きが活発化し、骨からのカルシウムが減少しやすくなる。

ケイ素を施用すると、茎が硬くなり倒伏防止だけでなく、病虫害にも強く、コメ品質も向上するためである。

表1でビタミン C も骨形成に重要な役割をしていることが示されている。タイプ1 コラーゲンはグリシン、プロリン、ヒドロキシプロリンの主として三つのアミノ酸から構成されている。ヒドロキシプロリンはコラーゲンに特有で、プロリンにビタミン C を補酵素とする酸化酵素の働きで水酸基が1つ付いたものである。そのため、ビタミン C が不足すると、正常なコラーゲンが合成されない。コラーゲンはヒトでは全タンパク質の30%を占め、タイプ1は最も大量に含まれるコラーゲンで、骨や真皮に多い。

3 ホウ素の骨や脳への作用

骨は常に破骨細胞と造骨細胞が働き、成人では約3年で全ての骨が入れ替わる。閉経後の女性が骨粗しょう症になりやすいのは、女性ホルモン濃度が閉経前より極端に低くなり、

表5 高齢者の脳認知行動能力のホウ素への影響

	実験Ⅰ		実験Ⅱ		実験Ⅲ	
	13人(50~78歳)		15人(44~69歳)		15人(49~61歳)	
ホウ素摂取量 mg/日	0.25	3.25	0.25	3.25	0.25	3.25
記号認識テスト						
反応時間秒	2.30±0.02 A	2.23±0.02 B	2.14±0.06 A	1.88±0.05 C	2.27±0.11 A	1.98±0.08 C
誤認識%	2.34±0.43 A	2.65±0.43 A	3.25±0.36 A	2.85±0.41 A	2.78±0.55 A	2.26±0.50 A
言語認識テスト						
反応時間秒	2.46±0.04 A	2.33±0.04 B	試験せず		試験せず	
誤認識%	7.85±0.73 A	7.44±0.72 A	試験せず		試験せず	

注: AとBは5%水準で有意。AとCは1%水準で有意。

実験Ⅰは、21日間の0.25mgB/2000kcal/日の平衡期間後、42日間 0mgB (placebo)と 3mgB (supplement)処理。

実験Ⅱ、Ⅲは、14日間の平衡期間後、63日間の低ホウ素(0.25mgB/日)食事、そして49日間の上記処理。

破骨細胞の働きを抑えることができなくなるためである。

アメリカ農務省の研究機関は閉経後 48~52歳の女性13名に167日間も管理されたユニット生活下ですごい実験を行っている。詳細は表4

の脚注に記載したが、1日0.25mgのホウ素低摂取に比べて、3.25mgのホウ素高摂取の女性は、血清中女性ホルモン濃度が高くなり、尿からのカルシウム流亡も減っている。

ホウ素は骨への影響だけではない。同じ農務省グループの研究だが、表5に示すようにホウ素は高齢者の脳を活性化する。記号や言語に対する応答時間も速くなっている。脳波も調べて

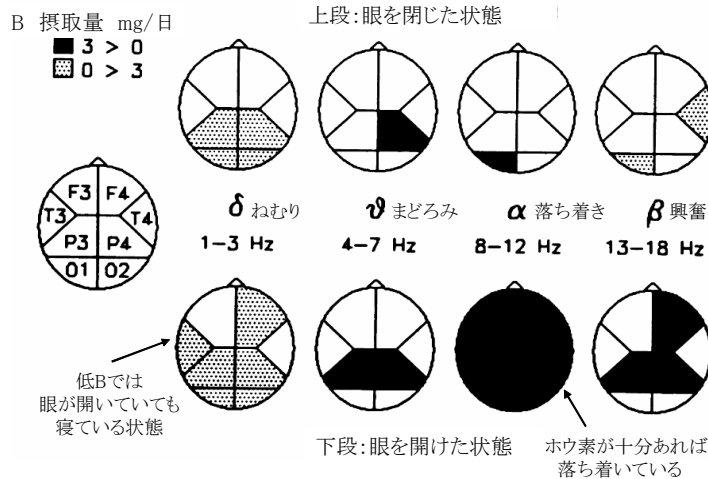


図5 ホウ素不足の脳波は、栄養失調や重金属元素過剰障害のような動きになる Penland (1994)

いる(図5)。ホウ素を十分摂取していないと、δ波が多く眼は開いていても寝ている状態だそうだ。一方、ホウ素を十分摂取していると、α波が多く、落ち着いている。

表6 果実、野菜ジュースの週間摂取回数とアルツハイマー発症率

Dai et al. (2006)

	週1回未満			週1、2回			週3回以上			p値
	発症者/ 人数	発症率	リスク 比	発症者/ 人数	発症率	リスク 比	発症者/ 人数	発症率	リスク 比	
モデル1	30/ 547	5.84%	1	11/ 257	4.43%	0.89	22/ 785	2.80%	0.49	0.01
モデル2			1			0.74			0.28	<0.01
モデル3			1			0.84			0.24	<0.01

モデル1: 学歴年数補正のみ

モデル2: さらに性別、運動習慣、摂取エネルギー、肥満度、脂肪酸摂取量、ApoE遺伝子、喫煙、飲酒、飲茶、ビタミンC、Eサプリメントの補正を追加

モデル3: さらにビタミンC、E、βカロチン摂取量補正を追加

表7 葉酸摂取量とアルツハイマーの発症率

Luchsinger et al. (2007)

葉酸摂取量	対象者 数	発病者 数	モデルのリスク比(95%信頼域)			
			モデル1	モデル2	モデル3	モデル4
≤292.9	241	54	1.0	1.0	1.0	1.0
293-365	241	52	1.1(0.7-1.6)	0.9(0.6-1.3)	0.9(0.6-1.4)	0.9(0.6-1.3)
365.1-487.8	241	49	0.9(0.6-1.3)	0.8(0.5-1.2)	0.8(0.5-1.2)	0.7(0.5-1.1)
≥487.9	242	37	0.7(0.5-1.1)	0.7(0.5-1.1)	0.7(0.5-1.1)	0.5(0.3-0.9)
P値			0.13	0.09	0.09	0.02

モデル1: 年齢、性別の補正

モデル2: さらに人種、教育、アポリポタンパクE ε 4対立遺伝子の補正

モデル3: さらに糖尿病、高血圧、喫煙、心臓病、脳卒中の補正

モデル4: さらにビタミンB6、B12摂取レベルの補正

表8 各種食品における骨をつくりボケを防止するミネラル、ビタミン含有率

食品名	水分 %	ミネラル		水分 %	ミネラル			ビタミン			
		B	Si		Mg	K	Ca	C	D	K	葉酸
玄米	16.4	140	4700	15.5	110	230	9	(0)	(0)	(0)	27
精白米	11.6	34	450	15.5	23	88	5	(0)	0	(0)	12
だいたい	12.1	1500	1100	12.5	220	1900	240	Tr	(0)	18	230
ほうれんそう	92.7	160	670	92.4	69	690	49	35	(0)	270	210
さつまいも	63.3	98	68	66.1	25	470	40	29	(0)	(0)	49
りんご	86.1	160	32	84.9	3	110	3	4	(0)	Tr	5
しいたけ乾	14.2	670	230	9.7	110	2100	10	0	16.8	0	240
わかめ	92.2	200	1900	89.0	110	730	100	15	(0)	140	29
きはだまぐろ	74.3	0	170	74.0	37	450	5	0	6	(0)	5
ぶたロース	53.0	0	310	60.4	22	310	4	1	0.1	3	1
鶏卵	75.9	57	310	76.1	11	130	51	0	1.8	13	43
普通牛乳	87.9	41	100	87.4	10	150	110	1	0.3	2	5
出典	鈴木泰夫(1993)				文部科学省(2005)						

4 まとめ

各種食品の骨をつくりボケを防止するミネラル、ビタミン含有率を表8に示した。骨のカルシウム代謝に必要なビタミンDを含有する農産物はきのこ類だけで、魚に多く含まれている。しかし、骨やボケ防止に関与するミネラル、ビタミン類の大部分は、土から得られる農産物によっている。土は農産物を通じて私たちの健康に関与している。

5 引用文献

Dai Q, Borenstein AR, Wu Y, Jackson JC, and Larson EB. (2006) Fruit and vegetable juices and Alzheimer's disease: The Kame project. *Am J Med.* 119, 751-759.

野菜や果物のジュースを週3回以上飲む人はアルツハイマー発生の危険度が低下するとの信頼できるデータもある(表6)。ホウ素がその役割の多くを担っていると思われるが、ビタミン類の効果も無視できない。野菜に多く含まれる葉酸摂取量とアルツハイマー発症率に関するデータを表7に示す。マンハッタン在住で、年齢65歳以上の認知症ではない被験者965名のベースラインデータは、1992～1994年に、その後6年半追跡調査し、研究期間中に192名がアルツハイマーを発症した。食事ならびにサプリメントからの葉酸摂取量を四分位に分類し、表7の脚注に示したように、モデル2や3に示したアルツハイマー発症危険因子やビタミンB6、B12摂取量も顧慮して統計処理をすると、モデル4で、葉酸摂取量が増加するにつれ、アルツハイマー発症のリスク比が有意に低下することが明らかになっている。

- Epstein E, and Bloom AJ. (2004) Mineral nutrition of plants: principals and perspectives. 2nd Ed, Sinauer Associates, Inc.
- 石見佳子 (2010) 日本薬学会編、健康とくすりシリーズ、骨の健康と生活習慣、薬事日報社.
- Jugdaohsingh R, Anderson S. HC, Tucker K.L, Elliott H, Kiel DP, Thompson R. PH, and Powell JJ (2002) Dietary silicon intake and absorption. *Am. J. Clin. Nutr*, 75, 887-893.
- Jugdaohsingh R, Tucker KL, Qiao N, Cupples LA. and Kiel DP. (2004) 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.
- New SA, Smith BC, Grubb DA, and Reid DM. (1997) Nutritional influences on bone mineral density: a crosssectional study in premenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr*. 65, 1831-1839.
- Nielsen FH, Hunt CD, Mullen LM, and Hunt JR. (1987) Effect of dietary boron on mineral, estrogen, and testosterone metabolism in postmenopausal women, *FASEB J*, 1, 394-397.
- Park M, Li Q, Shcheynikov N, Zeng W. and Muallem S. (2004) NaBC1 is a ubiquitous electrogenic Na⁺-coupled borate transporter essential for cellular boron homeostasis and cell growth and proliferation. *Molecular Cell*, 5, 331-341.
- Penland J. G. (1994) Dietary boron, brain function, and cognitive performance. *Environ.Health Perspect*, 102, 65-72.
- Reffitt DM, Ogston N, Jugdaohsingh R, Cheung HF, Evans BA, Thompson RP, Powell JJ. and Hampson GN. (2003) Orthosilicic acid simulates collagen type 1 synthesis and osteoblastic differentiation in human osteoblast-like cells in vitro. *Bone*, 32, 127-135.
- Rico H, Gallego-Largo JL, Hernandez ER, Villa LF, Sanchez-Atrio A, Seco C, and Gervas JJ (2000) Effects of silicon supplementation on osteopenia induced by ovariectomy in rats. *Calcif Tissue Int*, 66, 53-55.
- 桜井弘 (2006) 生命元素事典. オーム社.
- Luchsinger J, Tang MX, Miller J, Green R, and Mayeux R. (2007) Relation of higher folate intake to lower risk of Alzheimer disease in the elderly. *Arch Neurol*. 64, 86-92.
- 鈴木泰夫 (1993) 食品の微量元素含量表. 第一出版.
- 高橋英一 (1987) ケイ酸植物と石灰植物. 農文協.
- Takano J, Noguchi K, Yasumori M, Kobayashi M, Gajdos Z, Miwa K, Hayashi H, Yoneyama T. and Fujiwara T. (2002) Arabidopsis boron transporter for xylem loading. *Nature*, 420, 337-340.
- Tucker KL, Chen H, Hannan MT, Cupples LA, Wilson PWF, Felson D, and Kiel DP (2002) Bone mineral density and dietary patterns in older adults: the Framingham Osteoporosis Study. *Am J Clin Nutr*. 76, 245-52.
- Yokoi H, and Enomoto S. (1979) Effect of degree of polymerization of silicic acid on the gastrointestinal absorption of silicate in rats. *Chem. Pharm. Bull*, 27, 1733-1739.