

植物界におけるケイ酸植物の分布について (4)

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	高橋, 英一 田中, 輝夫 三宅, 靖人
巻/号	52巻5号
掲載ページ	p. 445-449
発行年月	1981年10月

植物界におけるケイ酸植物の分布について*1

(その4) 羊歯植物における分布

高橋英一*2・田中輝夫*3・三宅靖人*4

キーワード ケイ酸植物, ケイ酸集積性, 羊歯植物, 植物の系統

土壌中のある種の無機要素と植物との関係を明らかにしようとする場合, 1) その要素の植物体中における存在量(含有率)や存在形態, 2) その要素に対する植物の吸収性, 3) その要素の欠除あるいは過剰が植物の生育に与える影響等についての知見が必要である。またこれらが植物種間でどのようなちがいがあるか进行比较検討してみることも有益である。

著者らは土壌の主要構成要素であるケイ酸とそこに生育している植物との関係について, 比較植物栄養学的見地から研究をつづけてきているが, 上述の3点のうち第1に関しては, ケイ酸は植物の種類によって著しく含有率を異にする要素であり, これは植物のケイ酸栄養の特質をとく鍵の一つであるように思えたので, 植物界におけるケイ酸の分布の特徴をしらべようとした。そこで予備調査として, 同一土壌に生育している藓苔植物, 羊歯植物, 裸子植物, 被子植物にわたる175種類の陸上植物を供試し, ケイ酸を中心にそれらの植物の無機要素組成の特徴をしらべた¹⁻³⁾。その結果, ケイ酸含有率が平均より明らかに高いケイ酸植物の植物界における分布は, 第1図に示したように植物の系統と関係が深いこと, またケイ酸植物の特徴としてケイ酸含量のほかにSiと同族元素であるGeの含量も高いこと⁴⁻⁶⁾、典型的なケイ酸植物ではCa, Bの含量がSiとは逆に一般の非ケイ酸植物より低い傾向のあることなどがみいだされた。

またケイ酸に対する植物の生育反応はケイ酸植物と非ケイ酸植物とで異なり, 前者に属するイネ, スギナ, トクサなどでは生育初期からケイ酸欠除による生育低下がみとめられるが⁷⁾、後者に属するトマトでは生育前半の栄養生長期は全く影響をうけず, 第1花房開花期以後になって形態のうゑに異常を生じることも水耕試験の結果明らかになった⁸⁻¹⁰⁾。

このように植物のケイ酸含量が植物の種類によって異なることは, 植物のケイ酸に対する吸収性や生育のうゑにうける影響の相違と関係の深いことが推察された。ケイ酸は植物の生育環境中にもっとも多くまた普遍的に存在している無機要素であるので, ケイ酸の挙動が植物の種類によって異なるのは, 重金属に対する耐性の獲得のような特殊な環境に対する適応あるいは淘汰によるよりも, 植物の系統的進化のなかで生じた遺伝的特性に根ざすものであるように著者らには思われた。そこで植物の系統とケイ酸との関係をいま少し明瞭にするために, さきの予備調査の結果をもとにしてさらに検討を加えることにした。

第1に羊歯植物における分布, 第2に単子葉植物のイネ目における分布, 第3に単子葉植物のツクサ目-カヤツリグサ目の系統における分布をとりあげるが, 本報では羊歯植物についての結果を報告する。

1. 実験方法

1) 供試植物

京都府立植物園より分与をうけた45種類の羊歯植物(ヒカゲノカズラ綱1目1科2種, トクサ綱1目1科2種, シダ綱3目9科41種)を供試した。植物は採取後ただちに地上部を切りはなし, 蒸留水で数回洗浄して表面に付着している土壌の微粒子を入念に除去後風乾, さらに熱風乾燥器(70°C, 72時間)で十分に乾燥後スペックスマルで微粉末にした。

2) 分析方法

蛍光X線分析によってSi, Ca, K, Mg, P, S, Cl, Fe, Mnの定量を行なった。すなわち微粉末試料100mgを正確に秤量し, 成型器で1分間5トンの圧力を加えて直径13mmのペレットを作り, これをアルミニウム製のリングにはりつけた2枚の厚さ6μmのポリエステル膜の間にはさんで固定し, 蛍光X線用の試料とした。なおMgは感度が低いため, 測定にあたっては上面の膜をとりのぞいた。

測定は第1表に示す測定条件で, 理学電機社製KG-4型蛍光X線装置にPhilips社製X線管球を装着して行なった。セルロースを基材にして作った標準試料による

*1 ケイ酸の比較植物栄養学的研究(第13報)

本報告の概要は昭和54年8月日本土壤肥料学会北海道大会で発表した。

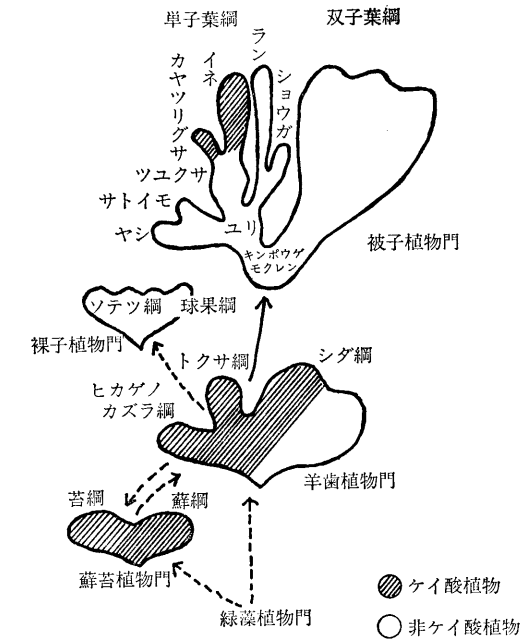
*2 京都大学農学部(606 京都市左京区北白川追分町)

*3 京都大学農学部(現在, 日本新薬株式会社研究所 607 京都市山科区大宅坂の辻町)

*4 岡山大学農学部(700 岡山市津島中1-1-1)

昭和56年3月23日受理

日本土壤肥料学雑誌 第52巻 第5号 p.445~449(1981)



第1図 植物の系統とケイ酸植物の分布 (175 種類, 1976 年)

第1表 蛍光X線による測定の場合

元素	分析結晶	検出器	対陰極	電圧 (kV)	電流 (mA)	分析X線	ピーク波長 (2θ)	測定時間 (秒)
Si	EDDT	PC	Cr	40	40	K _α	108.17	20
Ca	〃	〃	〃	〃	30	〃	44.85	10
K	〃	〃	〃	〃	〃	〃	50.33	10
Mg	ADP	〃	〃	〃	〃	〃	136.70	80
P	Ge	〃	〃	40	〃	〃	140.78	10
S	〃	〃	〃	〃	〃	〃	110.67	10
Cl	〃	〃	〃	〃	〃	〃	92.75	10
Fe	LiF	〃	〃	45	〃	〃	57.60	10
Mn	〃	〃	〃	〃	〃	〃	63.05	10

検量線から供試試料の各元素含量を求めたが、Si, Ca, K, Mg, P, S, Cl についてはその値をさらに大型コンピューターを使って補正した。また随時 NBS (National Bureau of Standards) の標準試料によって検定を行ない、測定誤差を少なくするよう留意した。

2. 実験結果

第2表に結果を示した。また類(綱), 目, 科ごとにまとめた結果を第3表に示した。羊歯植物の分類は主と

第2表 羊歯植物の無機成分含有率(対乾物)

植物番号と名前	Si(%)	Ca(%)	Si/Ca	K(%)	Mg(%)	P(%)	S(%)	Cl(%)	Fe(ppm)	Mn(ppm)
P 1 カタヒバ	5.29	0.65	8.14	1.17	0.32	0.24	0.33	0.35	135	68
P 2 イワヒバ	3.91	0.45	8.69	0.75	0.21	0.25	0.28	0.05	564	63
P 3 スギナ	6.00	2.67	2.25	3.96	0.27	0.31	2.20	1.75	37	50
P 4 トクサ	5.62	1.69	3.33	2.58	0.19	0.26	0.11	0.38	113	25
P 5 リュウビンタイ	1.66	1.23	1.35	0.55	0.17	0.35	0.60	0.66	103	90
P 6 ゼンマイ	5.59	1.56	3.58	1.72	0.20	0.22	0.94	0.64	123	487
P 7 シロヤマゼンマイ	2.42	0.51	4.75	1.45	0.16	0.22	0.32	0.13	195	171
P 8 コモチシダ	2.35	1.11	2.12	2.36	0.28	0.42	0.27	0.80	116	76
P 9 クジャクシダ	2.20	0.78	2.82	2.81	0.22	0.39	0.27	0.48	118	111
P 10 オウレンシダ	1.90	0.59	3.22	3.10	0.43	0.52	0.65	0.44	251	34
P 11 ワラビ	4.96	1.26	3.94	1.88	0.40	0.44	0.19	1.62	160	260
P 12 イノモトソウ	1.63	0.74	2.20	2.92	0.20	0.34	0.39	0.51	174	63
P 13 シノブ	0.46	0.64	0.72	0.33	0.64	0.10	0.17	0.39	282	233
P 14 タマシダ	0.27	1.84	0.15	2.43	0.67	0.48	0.30	0.78	147	117
P 15 オオイワヒトデ	0.30	1.03	0.29	3.47	0.35	0.54	0.46	0.62	68	49
P 16 ヤリノホクリハラン	0.03	0.68	0.04	3.19	0.31	0.33	0.17	0.43	47	43
P 17 ヒトツバ	0.04	0.69	0.06	2.69	0.56	0.35	0.19	0.43	43	62
P 18 タイワンヒメワラビ	1.13	1.11	1.02	2.30	0.23	0.41	0.25	0.35	145	55
P 19 オニヤブソテツ	0.13	0.96	0.14	2.58	0.28	0.35	0.29	0.19	131	102
P 20 ヤマヤブソテツ	0.23	1.46	0.16	2.01	0.73	0.47	0.37	0.71	183	37
P 21 ヤマイタチシダ	0.06	1.12	0.05	1.96	0.25	0.39	0.25	0.29	108	51
P 22 オシダ	0.14	2.06	0.07	0.81	0.31	0.24	0.34	0.57	261	199
P 23 ベニシダ	0.21	0.96	0.22	2.21	0.36	0.26	0.31	0.19	194	421
P 24 クマワラビ	0.19	1.11	0.17	2.68	0.29	0.29	0.38	0.64	125	33
P 25 ナガサキシダ	0.27	2.14	0.13	1.93	0.41	0.24	0.52	0.57	133	64
P 26 オオクマワラビ	0.24	1.37	0.18	2.57	0.32	0.31	0.59	0.56	171	36
P 27 オオカナワラビ	0.33	1.33	0.25	2.43	0.27	0.38	0.43	0.59	127	75

第2表（つづき）

植物番号と名前	Si(%)	Ca(%)	Si/Ca	K(%)	Mg(%)	P(%)	S(%)	Cl(%)	Fe(ppm)	Mn(ppm)
P28 コバノカナワラビ	0.29	1.34	0.22	1.48	0.35	0.31	0.48	0.58	116	67
P29 リョウメンシダ	0.21	1.58	0.13	2.37	0.29	0.47	0.63	1.03	338	85
P30 オリヅルシダ	0.06	0.84	0.07	2.17	0.23	0.21	0.29	0.55	92	46
P31 イノデ	0.07	0.75	0.09	1.99	0.21	0.17	0.20	0.47	118	48
P32 サイゴクイノデ	0.37	1.81	0.20	1.81	0.52	0.28	0.33	0.79	605	63
P33 ジュウモンジシダ	0.19	1.51	0.13	2.05	0.40	0.35	0.39	0.63	257	68
P34 カツモウイノデ	0.49	1.65	0.30	0.56	0.31	0.38	0.82	0.70	296	69
P35 ヒメワラビ	1.22	2.25	0.54	1.86	0.18	0.35	0.24	1.05	185	57
P36 ホシダ	3.27	1.77	1.85	1.55	0.47	0.38	0.33	0.69	122	73
P37 イヌケホシダ	5.11	1.69	3.02	1.95	0.36	0.70	0.22	1.15	297	79
P38 ミゾシダ	3.00	2.19	1.37	1.65	0.21	0.26	0.37	0.84	229	39
P39 シケシダ	1.22	1.38	0.88	4.72	0.28	0.70	0.16	2.08	193	24
P40 ヒトツバシケシダ	1.91	1.34	1.43	3.88	0.37	0.55	0.36	0.79	116	49
P41 イヌワラビ	0.87	0.82	1.06	4.11	0.18	0.21	0.31	1.55	224	22
P42 ヘビノネゴザ	1.43	1.56	0.92	2.29	0.31	0.58	0.14	1.21	199	32
P43 ノコギリシダ	1.67	1.01	1.65	3.80	0.25	0.37	0.30	0.19	168	46
P44 シロヤマシダ	4.39	2.55	1.72	2.45	0.40	0.49	0.35	0.81	230	121
P45 コウヤワラビ	1.54	2.00	0.77	3.41	0.35	0.64	0.53	1.96	183	39

第3表 羊歯植物におけるケイ酸集積性の科別分布

羊歯植物門	Si(%)	Ca(%)	Si/Ca(集積性の程度)	K(%)	Mg(%)	P(%)	S(%)	Cl(%)	Fe(ppm)	Mn(ppm)
ヒカゲノカズラ類イワヒバ目 イワヒバ科 P1~2	4.60	0.55	8.42(卅~卅)	0.96	0.27	0.25	0.31	0.20	350	66
トクサ類トクサ目 トクサ科 P3~4	5.81	2.18	2.79(卅~卅)	3.27	0.23	0.29	1.16	1.07	75	38
シダ類リュウビンタイ目 リュウビンタイ科 P5	1.66	1.23	1.35(+)	0.55	0.17	0.35	0.60	0.66	103	90
シダ類ゼンマイ目 ゼンマイ科 P6~7	4.01	1.04	4.17(卅)	1.59	0.18	0.22	0.63	0.39	159	329
シダ類シダ目										
シシガシラ科 P8	2.35	1.11	2.12(+)	2.36	0.28	0.42	0.27	0.48	116	76
イノモトソウ科 P9~12	2.67	0.84	3.05(+~卅)	2.68	0.31	0.42	0.38	0.76	176	117
ヒメシダ科 P35~38	3.15	1.98	1.70(+~卅)	1.75	0.31	0.42	0.29	0.93	208	72
メシダ科 P39~45	1.86	1.52	1.20(+)	3.52	0.31	0.51	0.31	1.23	188	48
オシダ科 P18~34	0.27	1.36	0.21(-)	1.99	0.34	0.32	0.40	0.55	200	89
シノブ科 P13~14	0.37	1.24	0.44(-)	1.38	0.66	0.29	0.24	0.59	215	175
ウラボシ科 P15~17	0.12	0.70	0.13(-)	3.12	0.41	0.41	0.27	0.49	53	51
全平均 P1~45	1.66	1.33	1.48(+)	2.29	0.33	0.37	0.40	0.72	183	91
ケイ酸型平均 P1~12 P35~45	3.01	1.38	2.68(+~卅)	2.47	0.28	0.40	0.43	0.86	184	90
非ケイ酸型平均 P13~34	0.26	1.26	0.22(-)	2.09	0.38	0.33	0.37	0.55	181	92
ケイ酸型/非ケイ酸型	11.6	1.10	12.2	1.18	0.74	1.21	1.16	1.56	1.02	0.98

して「植物系統分類の基礎」(北隆館, 1975)のシダ植物篇(岩槻邦男)によった。ケイ酸集積性の判定は第4表に示したような基準によった。

3. 考 察

さきに報告した予備調査の結果によると、羊歯植物にはヒカゲノカズラ類、トクサ類を中心にケイ酸植物がかなり分布しているが、一方羊歯植物のなかで最も大きな

第 4 表 ケイ酸集積性の判定基準

Si 集積性*	—	+	++	+++
Si 含有率	<0.5%	1~2%	3~4%	>5%
Si/Ca 含有率比	<0.5	1~2	3~4	>5

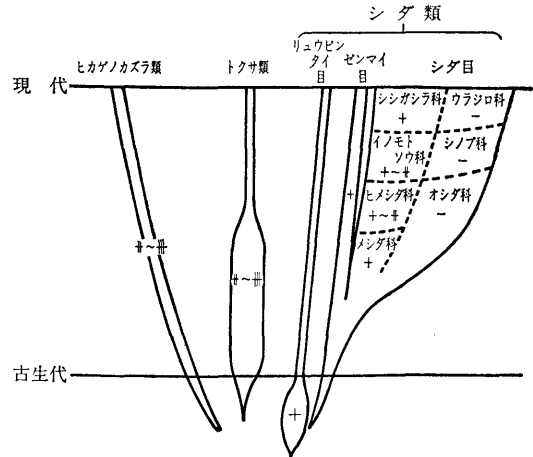
* 集積性は植物の葉身あるいは地上部の Si 含有率(対乾物)および Si/Ca 含有率比の両方を勘案して判定する。これは既報¹⁻³⁾の予備調査の結果をもとにきめたものである。

第 5 表 供試植物の生育していた土壤の可給態ケイ酸含量 (乾土 100g 当り SiO₂ mg)

土 壤	水溶性ケイ酸	pH 4 酢安緩衝液可溶性ケイ酸
京都府立植物園		
北門付近	2.2	7.6
植物生態園中央	2.1	7.0
沈床花壇	2.2	7.0
平均	2.2	7.2
日本新薬山科植物園		
見本園	3.8	13.4
樹木園	4.0	12.6
平均	3.9	13.0

グループをなしているシダ類には明らかにケイ酸集積性を示さないものが存在していた³⁾。しかし供試種数が少ないため十分な考察ができなかった。今回は分析に供試した 45 種のシダ植物のうち、シダ類は 41 種類を占めたが、科によってケイ酸集積種を含むものと含まないものに分離することがかなり明瞭となった。なお今回の植物採取土壤(京都府立植物園)の可給態ケイ酸含量は前回(日本新薬山科植物研究所)のそれに比べて低かったが(第 5 表参照)、供試 45 種の平均値は Si 1.66%, Ca 1.33%, Si/Ca 比 1.48 であり、前回の 14 種の平均値の Si 1.39%, Ca 1.07%, Si/Ca 比 1.30 と近似した値を示しており、生育土壤の可給態ケイ酸のちがいは、植物のケイ酸吸収性そのものに大きな影響を及ぼしていないと推察された。

第 3 表は分析結果を科別の平均値で示したものであるが、羊歯植物門を構成している主要なグループのうち、ヒカゲノカズラ類とトクサ類の植物は前回と同様強いケイ酸集積性を示した。シダ類は最も大きいグループであるが、そのうちリュウビンタイ目、ゼンマイ目はケイ酸集積性を示したが、シダ目のなかには明らかにケイ酸集積性を示さない科が存在した。シダ目はシダ類のなかで最大のものであるが、そのなかでケイ酸集積性に関して分化がおこっているように思われる。なお興味深いのはオンダ科におけるケイ酸植物の分布である。オンダ科はシダ目中最大の科であり、これを第 3 表のようにオン



第 2 図 シダ植物門におけるケイ酸植物の分布 (文献 12) p. 158~159, 181~182 を参考に著者が描いた)

ダ科、メシダ科、ヒメシダ科の 3 つに分けることが提案されている^{11,12)}。本報ではこれによったが、広義のオンダ科にはケイ酸集積種と非集積種が混在するが、このように 3 つに分けるとメシダ科、ヒメシダ科にはケイ酸集積種が、オンダ科(狭義)には非集積種が集まり、ケイ酸集積性と分類がよく一致する。

第 2 図にまとめたように、供試した 45 種の羊歯植物のうち、ヒカゲノカズラ類、トクサ類、シダ類のリュウビンタイ目、ゼンマイ目、シダ目のシガシラ科、イノモトソウ科、ヒメシダ科、メシダ科の 23 種類の植物はケイ酸型であったが、シダ類シダ目のオンダ科、シノブ科、ウラボシ科の 22 種類は非ケイ酸型であった。羊歯植物のケイ酸型の特徴は非ケイ酸型に比べてケイ酸含量が著しく高いほかは、他の要素には大きなちがいがみられなかった。

羊歯植物のなかで最も原始的なロボク、リンボクから由来したと推定されるヒカゲノカズラ類、トクサ類は強いケイ酸集積性を示すが、これらより後に繁栄したシダ類ではケイ酸集積性が弱まり、全く集積性を示さないものも多数あらわれてきている。さきに報告した予備調査の結果と併せて考えると、初期の陸上植物である蘚苔植物、羊歯植物にみられるケイ酸集積性はシダ目にいたって失われるようになり、裸子植物から被子植物へと進んでいったようにみえる。これに類似した事例として、マメ科植物のゲンゲ (*Astragalus*) 属内でのセレン集積性の分化が知られているが¹³⁾、特殊な元素に対する植物の集積性の目や科のなかでの分化は、ほかにもみられるかもしれない。

4. 要 約

京都府立植物園に栽培されている45種類の羊歯植物について元素組成 (Si, Ca, K, Mg, P, S, Cl, Fe, Mn) をしらべ、Si含有率とSi/Ca比とからケイ酸植物の羊歯植物門における分布を推察した。

1) 羊歯植物を構成している、より原始的なグループであるヒカゲノカズラ類、トクサ類の植物は強いケイ酸集積性を示した。

2) これに比べるとシダ類におけるケイ酸集積性は一般に弱く、そのなかの最も大きな目であるシダ目には明らかにケイ酸集積性を示さない種を含む科が存在した。

3) シダ目のなかでの最大の科であるオンダ科（広義）には、集積種と非集積種が併存したが、オンダ科をさらにヒメシダ科、メシダ科、オンダ科（狭義）に分ける分類によると、非集積種はオンダ科（狭義）に集中した。

4) 以上の結果から羊歯植物の有していたケイ酸集積性は、シダ目を構成している科の間で分化をおこし、集積性を示さないものがあらわれたように推察された。

謝 辞 供試植物の提供をいただいた京都府立植物園木幡欣一園長に感謝いたします。また本研究は文部省科学研究費（一般 B 447092）の助成によって行なわれた。

文 献

- 1) 高橋英一・三宅靖人：植物界におけるケイ酸植物の分布について、（その1）単子葉綱における分布、土肥誌, 47, 296~300 (1976)
- 2) 高橋英一・三宅靖人：植物界におけるケイ酸植物の分布について、（その2）双子葉綱における分布、同上, 47, 301~306 (1976)
- 3) 高橋英一・三宅靖人：植物界におけるケイ酸植物の分布について、（その3）裸子植物、羊歯植物、蕨苔植物における分布、同上, 47, 333~337 (1976)
- 4) 高橋英一・蕭 聰明・三宅靖人：ケイ酸植物のゲルマニウムに対する生育反応の特異性について（その1）、同上, 47, 183~190 (1976)
- 5) 高橋英一・蕭 聰明・三宅靖人：ケイ酸植物のゲルマニウムに対する生育反応の特異性について（その2）、同上, 47, 191~197 (1976)
- 6) 高橋英一・蕭 聰明・三宅靖人：ゲルマニウム吸収性の植物種間差異について、同上, 47, 217~221 (1976)
- 7) 三宅靖人・高橋英一：ケイ酸植物の生育に対するケイ酸の影響、同上, 47, 375~382 (1976)
- 8) 三宅靖人・高橋英一：トマトのケイ酸欠乏症（1）、ケイ酸欠乏症の確認および検討、同上, 47, 383~390 (1976)
- 9) 三宅靖人・高橋英一：トマトのケイ酸欠乏症（2）、欠乏症発現におよぼす栽培環境の検討、同上, 47, 447~450 (1976)
- 10) 三宅靖人・高橋英一：トマトのケイ酸欠乏症（3）、品種特性、栽培条件の影響、同上, 47, 451~457 (1976)
- 11) 田川基二：原色日本羊歯植物図鑑, p.72, 保育社 (1976)
- 12) 井上 浩・岩槻邦男ほか：植物系統分類の基礎, p.187~189, 北隆館 (1975)
- 13) SHRIFT, A.: Aspects of Selenium Metabolism in Higher Plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 20, 475~494 (1969)