

## 環境浄化植物を探る：愛媛県砥部町万年地域の例

Plant screening of fern species for phytoremediation: Case study of Mannen area, Tobe Town, Ehime Prefecture, Japan.

福地恵子<sup>1</sup> 佐野 栄<sup>2</sup>  
渡邊重義<sup>3</sup> 榊原正幸<sup>4</sup>

Keiko Fukuchi<sup>1</sup>, Sakae Sano<sup>2</sup>, Shigeyoshi Watanabe<sup>3</sup> and Masayuki Sakakibara<sup>4</sup>

<sup>1</sup>愛媛大学教育学部生活健康課程生活環境コース  
Health and Life Sciences Course, Faculty of Education,  
Ehime University, 3 Bunkyo-cho, Matsuyama 790-8577,  
Japan

<sup>2</sup>愛媛大学教育学部地学  
Earth Science Laboratory, Faculty of Education, Ehime  
University, 3 Bunkyo-cho, Matsuyama 790-8577, Japan

<sup>3</sup>愛媛大学教育学部理科教育  
Science Education Laboratory, Faculty of Education,  
Ehime University, 3 Bunkyo-cho, Matsuyama 790-8577,  
Japan

<sup>4</sup>愛媛大学理学部地球科学科  
Department of Earth Science, Faculty of Science, Ehime  
University, 2-5 Bunkyo-cho, Matsuyama 790-8577, Japan

### はじめに

ファイトレメディエーションは、植物を用いた汚染土壌の修復技術である。植物を用いた土壌浄化技術は、環境への負荷がかからないことや低コストなどの面から、近年注目されるようになってきている。しかしながら、植物を用いた土壌の浄化技術を成功させる上で、ファイトレメディエーションに使用する植物が、浄化しようとする土壌・気候等の諸条件に適合できるかどうか重要な課題となる。換言すると、元来温暖な気候で自生する植物を寒冷地でのファイトレメディエーションに適用することは難しい。また、特定の有害元素の濃集する土壌に適応できる植物でないとファイトレメディエーションは実現できない。これまで、土壌中のヒ素や重金属の環

### Abstract

We determined trace element abundance in twenty seven ferns and related lichen from the Mannen area, Tobe Town, Ehime Prefecture, to find plants for phytoremediation. Although the most ferns do not show specific accumulation for any toxic elements, *Arachniodes standishii* (Moore) Ohwi contains significant amount of antimony (max. 44 µg/g-DW). Further greenhouse pot experiment is needed to test the possibility for the fern as the accumulator.

Key words : fern, phytoremediation, antimony, *Arachniodes standishii* (Moore) Ohwi

境浄化植物として、いくつかの植物が報告されてきている。例えばヘビノネゴザ *Athyrium yokoscense* (Fr.et.Sav.) Christ は、銅、カドミウム、鉛、亜鉛等の元素を吸収することが古くから知られてきており、別名「カナヤマシダ」などと呼ばれ、鉱山探索の指標とされてきた。また、グンバイナズナ *Thlaspi caerulescens* (Brown et al., 1995) はカドミウムや亜鉛を、モエジマシダ *Pteris Vittata* L. (Ma et al., 2001) はヒ素を効率良く吸収することが報告されてきている。

本研究は、特定の元素を集積する植物の探索を行うことを主目的とし、有害元素を効率良く吸収する植物および身近な植物の元素吸収特性に関するデータベースを蓄積することを目的として進められている。研究を着手するにあたり、愛媛県砥部町万年地域の植物についてその微量元素濃度を検討した。愛

媛県砥部町万年地域の新生代中新世に活動した安山岩体には、熱水変質作用に伴って形成された多量の硫化鉱物が胚胎する。さらにこの岩体のボーリングコアにみられるヒ素濃度は高いところで約2000  $\mu\text{g/g}$ に達することが報告されている(榊原他, 2005b)。本研究では、これまでの榊原らのグループによりその地質学的背景が明らかになっている当該地域について、そこに自生するシダ植物を採集し、その元素吸収特性を明らかにすることにより、環境浄化に利用可能な植物が存在するかどうかその可能性を模索する。

### 植物採取と砥部町万年地域の地質学的背景

愛媛県砥部町南部には、基盤岩類として三波川変成岩類が分布し、久万層群の礫岩層がそれを不整合に覆っている。これらの岩石を、石鎚層群に相当する安山岩類が貫入し岩体を形成している(田崎他, 1990; 1993)。砥部町万年地域の安山岩体(Fig. 1)は強度に変質作用を被っており、いたるところに硫化鉱物が形成されている。さらに、この地域の安山岩体内およびその周辺では、小規模ではあるが多数の硫化物鉱山が胚胎する。榊原他(2005a,b)および千葉他(2005)により万年安山岩体の風化および熱水

変質作用について詳細な検討がなされている。彼らの一連の検討結果によれば、万年安山岩体を構成する岩石は総じて、ヒ素やアンチモン濃度が高い。また、佐野他(2005)によれば、万年安山岩体およびその周辺地域を流れる河川のヒ素濃度は、河川水環境基準値10  $\mu\text{g/L}$ 以下の値を示すものの、およそ3  $\mu\text{g/L}$ で、全国の一般的な河川水と比較して高いことが報告された。さらにアンチモンは砥部川水系全般にわたり要監視項目の指針値20  $\mu\text{g/L}$ と比べ明らかに高い(大野他, 2006)。このように、万年安山岩体周辺の地表付近における土壌および水環境中のヒ素やアンチモン濃度が通常の値と比較して高いことは、その地域の植生にも少なからず影響を与えていることが予想される。

本研究対象の砥部町万年地域には、谷間や山の斜面に多くのシダが群生する。そこで本研究では、2005年9月から12月にかけて、万年安山岩体の強風化帯からなる地域に自生するシダ植物を採取した。シダは、9科16属、27種類が確認された(Table 1)。植生の頻度としてはウラボシ科 *Gleichenia japonica* が最も高い。最も多くの種類が確認されたのはオシダ科のシダで、5属14種にのぼる。また、シダ以外にジャゴケ *Conocephalum conicum* (L.) Dumortを併せて採取した。

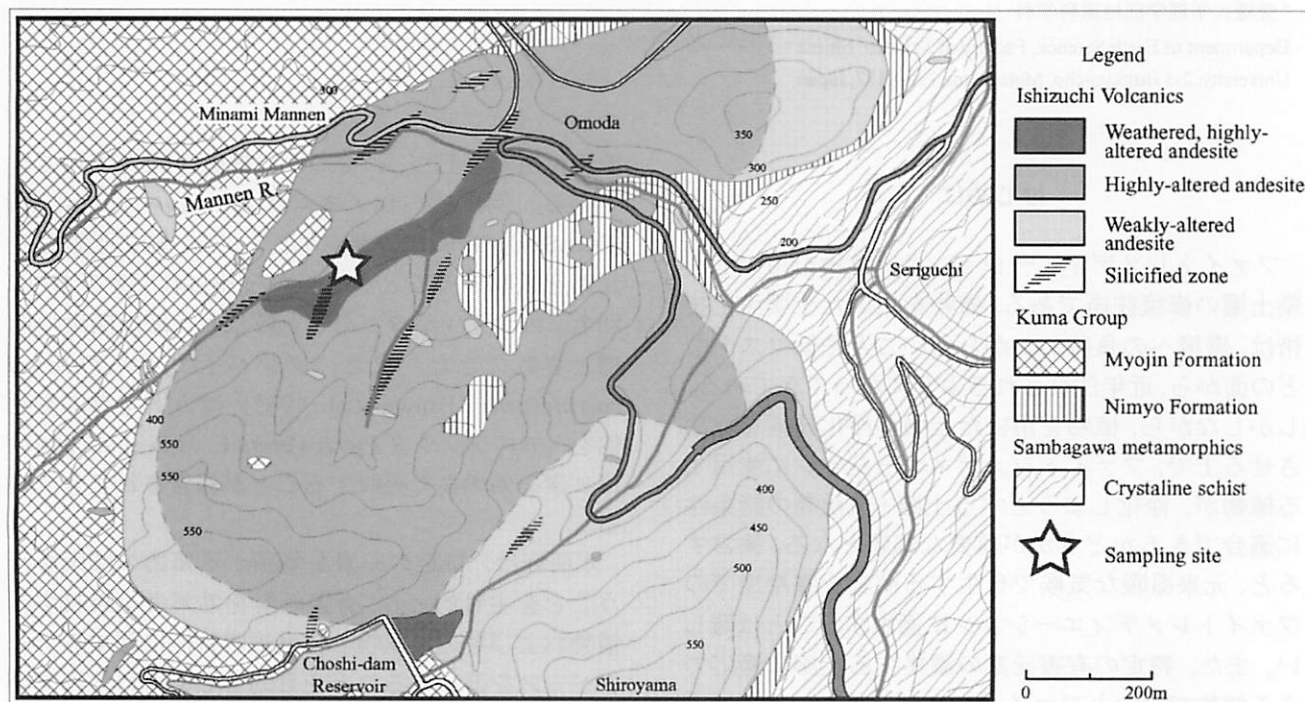


Fig. 1. Geologic map (Nakai, 2004MS) and sampling location of ferns from the Mannen area.

## 分析方法

採取した植物は、85°Cの乾燥器内で6時間以上乾燥させた。乾燥させた植物の葉の一部（基本的には葉の先端部分）を摘取し、それをテフロン製の密閉式分解容器を用いて、過酸化水素水、硝酸、フッ酸により分解した。分解した試料は3%硝酸を用いて適当な濃度に希釈した後、愛媛大学総合科学支援センター設置の誘導結合プラズマ質量分析計（Perkin-Elmer社Elan6000）を用いてバナジウム、クロム、マンガン、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ヒ素、ルビジウム、ストロンチウム、カドミウム、アンチモン、バリウム、鉛について定量分析した。測定は10ppm多元素標準溶液を適当な濃度に希釈して作成した標準溶液を用いた外部検量線法により行い、さらに、機器の感度のドリフトを補正するためにロジウムによる内部標準補正を行った。

## 分析結果

分析結果をTable 2に示す。28種の植物（内27種がシダ植物）について元素濃度を検討したが、特定の元素について超集積性を示す植物は認められなかった。いくつかの有害元素についてみると（Fig. 2）、ヒ素は、リョウメンシダ *Arachniodes standishii* (Moore) Ohwiを除き、総じて1 µg/g-DW以下であるが、リョウメンシダからは、他のシダと比較して相対的に高い、約6 µg/g-DWの濃度が検出された。カドミウムは、総じて含有量が低くすべて1 µg/g-DW以下である。ヌカイタチシダ *Dryopteris gymnosora* (Makino) C. Chr., トウゴクシダ *Dryopteris nipponensis* Koidz., オニカナワラビ *Arachniodes simplicior* (Makino) Ohwi var. *major* (Tagawa) Ohwiは、他のシダに比べやや高いカドミウム濃度を示す。シダ植物以外のジャゴケも約0.8 µg/g-DWと比較的高いカドミウムを含有する。アンチモンはリョウメンシダに最も多く含まれ、44 µg/g-DWの濃度が検出された。リョウメンシダ以外の植物は総じて1 µg/g-DW以下の低い濃度しか含有しない。また、オニカナワラビとトウゲシバ *Lycopodium serratum* Thunb.に1 µg/g-DW程度のアンチモンが含有される。鉛は植物による濃度の顕著な差異は認められず、ほぼ0.1～5 µg/g-DWであった。

## 考 察

28種類の植物中の微量元素濃度を求めたが、特定の有害元素に関する超集積性を有する植物は認められなかった（Table 2）。しかしながら、リョウメンシダは、他の植物には認められない44 µg/g-DWのアンチモン濃度を示す。9月に採取したリョウメンシダのアンチモンに関する集積性を再確認するために、12月に改めて採取したリョウメンシダ複数個体について、その部位ごとに元素濃度を分析した（Table 3）。リョウメンシダのアンチモンに関する集積性は、12月に採取した個体からは認められなかった。9月に採取したリョウメンシダが最も高いアンチモン濃度を示し、12月に採取したリョウメンシダでは、枯れ葉に最も高濃度のアンチモン（18.3 µg/g-DW）が含まれることから、アンチモンの集積性は、リョウメンシダの成長に強く関連性があるものと考えられる。すなわち、9月は植物が盛んに成長を行う季節で、土壤中から効率良くアンチモンを吸収することが期待される。一方、12月は植物の生長が停滞する。このため、植物体内のアンチモン濃度が低くなったのかもしれない。12月に採取したリョウメンシダのうち、枯れ葉に最もアンチモンが多く含まれるのは、夏から秋にかけて成長した葉が冬にかけて枯れたもので、枯れ葉は、夏から秋に吸収したアンチモンを蓄積していると考えられることも可能である。冬の時期に青葉を茂らせているリョウメンシダは、総じてアンチモン濃度は低い。今後、季節変化に伴う葉に含まれる元素濃度変化を追跡する必要がある。

リョウメンシダのアンチモン濃度の多様性は、シダが自生していた土壤環境に依存する可能性も想定される。リョウメンシダが自生していた土壤の微量元素濃度分析結果をTable 3に示す。分析した土壤はほぼ数メートル四方の狭い範囲内から採取されたもので、シダ以外の植生の違いは認められない。土壤の分析結果は、概ね安山岩に含まれる微量元素の多様性の範囲内に収まる。しかしながら、Table 3で明らかのように、マンガンとアンチモンには顕著な多様性が認められる。両者の濃度には、それぞれ0.2～280 µg/g、2.0～288 µg/gの組成幅がある。さらにリョウメンシダ2個体について、葉の先端部分、葉の根本部分、根、さらに、枯葉と土壤から成長し始めた数センチの若い葉について微量元素濃度を検討した。その結果、シダごとにアンチモン濃度は異なっている。さらに、アンチモンとヒ素の濃度には相関関係が認められる。すなわち、アンチモンの濃

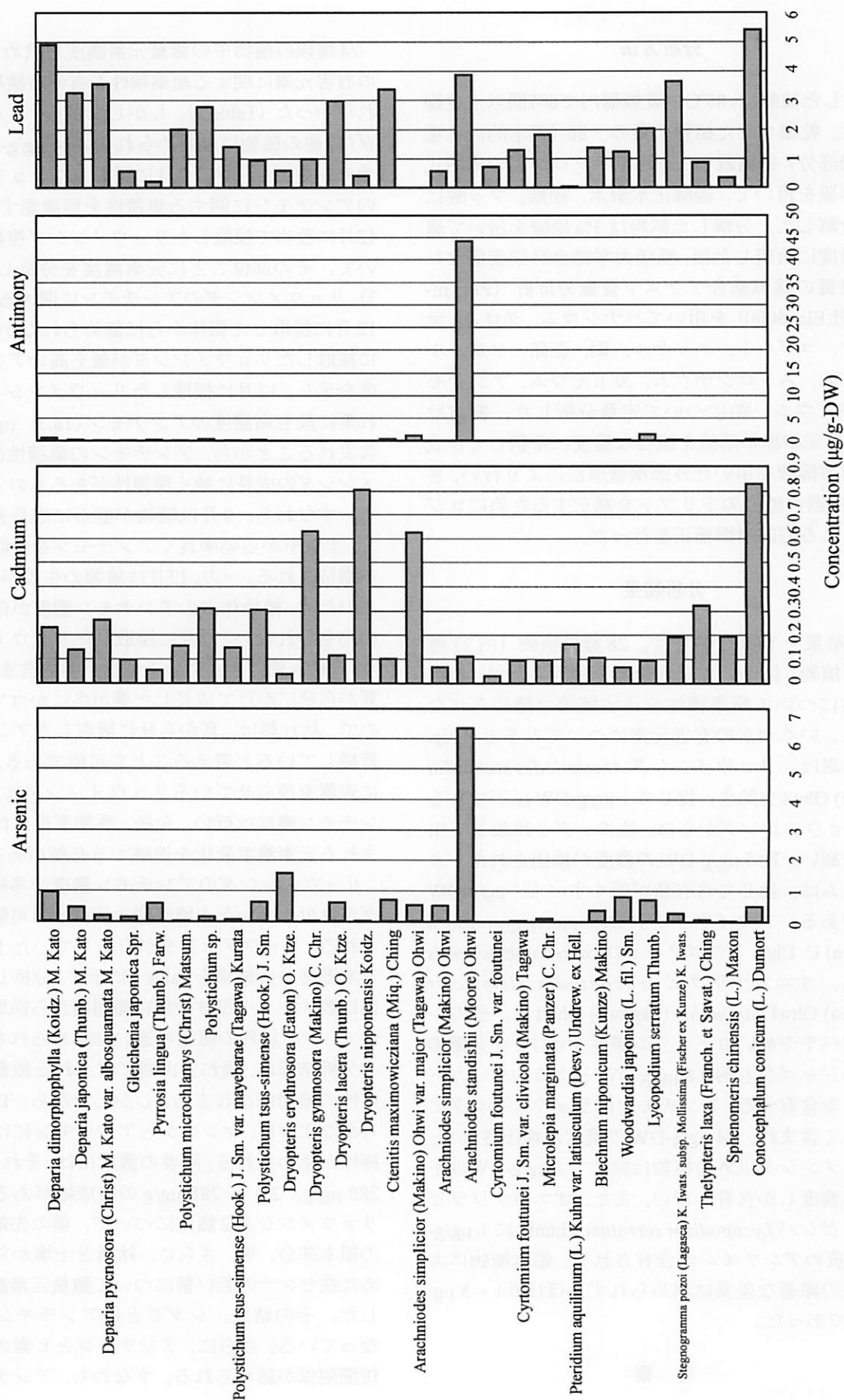


Fig. 2. Toxic elements (As, Cd, Sb, Pb) abundance (mg/g-DW) in ferns and related lichen. Order of the plants follow to that in Table 1.

環境浄化植物を探る：愛媛県砥部町万年地域の例

Table 1. List of ferns and the related plant collected from the Mannen area, Tobe Town.

Family/Genus	Japanese name	Nomenclature
<b>Fern and fern allies</b>		
イワデンダ科オオシケシダ属	セイタカシケシダ	<i>Deparia dimorphophylla</i> (Koidz.) M. Kato
イワデンダ科オオシケシダ属	シケシダ	<i>Deparia japonica</i> (Thunb.) M. Kato
イワデンダ科オオシケシダ属	ハクモウイノデ	<i>Deparia pycnosora</i> (Christ) M. Kato var. <i>albosquamata</i> M. Kato
ウラジロ科ウラジロ属	ウラジロ	<i>Gleichenia japonica</i> Spr.
ウラボシ科ヒトツバ属	ヒトツバ	<i>Pyrrosia lingua</i> (Thunb.) Farw.
オシダ科イノデ属	カラクサイノデ	<i>Polystichum microchlamys</i> (Christ) Matsum.
オシダ科イノデ属	イノデ	<i>Polystichum</i> sp.
オシダ科イノデ属	オオキヨズミシダ	<i>Polystichum tsus-simense</i> (Hook.) J. Sm. var. <i>mayebarae</i> (Tagawa) Kurata
オシダ科イノデ属	ヒメカナワラビ	<i>Polystichum tsus-simense</i> (Hook.) J. Sm.
オシダ科オシダ属	ベニシダ	<i>Dryopteris erythrosora</i> (Eaton) O. Ktze.
オシダ科オシダ属	ヌカイタチシダ	<i>Dryopteris gymnosora</i> (Makino) C. Chr.
オシダ科オシダ属	クマワラビ	<i>Dryopteris lacera</i> (Thunb.) O. Ktze.
オシダ科オシダ属	トウゴクシダ	<i>Dryopteris nipponensis</i> Koidz.
オシダ科カツモウイノデ属	キヨスミヒメワラビ	<i>Ctenitis maximowicziana</i> (Miq.) Ching
オシダ科カナワラビ属	オニカナワラビ	<i>Arachniodes simplicior</i> (Makino) Ohwi var. <i>major</i> (Tagawa) Ohwi
オシダ科カナワラビ属	ハカタシダ	<i>Arachniodes simplicior</i> (Makino) Ohwi
オシダ科カナワラビ属	リョウメンシダ	<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi
オシダ科ヤブソテツ属	ヤブソテツ	<i>Cyrtomium foutunei</i> J. Sm. var. <i>foutunei</i>
オシダ科ヤブソテツ属	ヤマヤブソテツ	<i>Cyrtomium foutunei</i> J. Sm. var. <i>clivicola</i> (Makino) Tagawa
コバノイシカグマ科フモトシダ属	フモトシダ	<i>Microlepia marginata</i> (Panzer) C. Chr.
コバノイシカグマ科ワラビ属	ワラビ	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw. ex Hell.
シシガシラ科ヒリュウシダ属	シシガシラ	<i>Blechnum niponicum</i> (Kunze) Makino
シシガシラ科コモチシダ属	オオカグマ	<i>Woodwardia japonica</i> (L. fil.) Sm.
ヒカゲノカズラ科ヒカゲノカズラ属	トウゲシバ	<i>Lycopodium serratum</i> Thunb.
ヒメシダ科ミゾシダ属	ミゾシダ	<i>Stegnogramma pozoi</i> (Lagasca) K. Iwats. subsp. <i>Mollissima</i> (Fischer ex Kunze) K. Iwats.
ヒメシダ科ヒメシダ属	ヤワラシダ	<i>Thelypteris laxa</i> (Franch. et Savat.) Ching
ホングウシダ科ホラシノブ属	ホラシノブ	<i>Sphenomeris chinensis</i> (L.) Maxon
<b>Concehalaceae</b>		
ジャゴケ科ジャゴケ属	ジャゴケ	<i>Conocephalum conicum</i> (L.) Dumort

Table 2. Concentrations ( $\mu\text{g/g-DW}$ ) of trace elements in ferns and the related plant collected from the Mannen area, Tobe Town.

Japanese name	Nomenclature	V	Cr	Mn
シダ植物				
セイタカシケシダ	<i>Deparia dimorphophylla</i> (Koidz.) M. Kato	6.89	11.0	51.0
シケシダ	<i>Deparia japonica</i> (Thunb.) M. Kato	1.87	2.22	60.8
ハクモウイノデ	<i>Deparia pycnosora</i> (Christ) M. Kato var. <i>albosquamata</i> M. Kato	0.396	0.443	59.6
ウラジロ	<i>Gleichenia japonica</i> Spr.	0.015	0.045	58.8
ヒトツバ	<i>Pyrrhosia lingua</i> (Thunb.) Farw.	5.05	10.3	57.7
カラクサイノデ	<i>Polystichum microchlamys</i> (Christ) Matsum.	0.068	0.172	54.0
イノデ	<i>Polystichum</i> sp.	0.247	1.04	114
オオキヨズミシダ	<i>Polystichum tsus-simense</i> (Hook.) J. Sm. var. <i>mayebarae</i> (Tagawa) Kurata	0.190	0.285	54.3
ヒメカナワラビ	<i>Polystichum tsus-simense</i> (Hook.) J. Sm.	5.03	9.76	34.7
ベニシダ	<i>Dryopteris erythrosora</i> (Eaton) O. Ktze.	4.85	10.1	103
ヌカイタチシダ	<i>Dryopteris gymnosora</i> (Makino) C. Chr.	0.120	0.170	133
クマワラビ	<i>Dryopteris lacera</i> (Thunb.) O. Ktze.	4.72	10.5	30.9
トウゴクシダ	<i>Dryopteris nipponensis</i> Koidz.	0.007	0.166	101
キヨスミヒメワラビ	<i>Ctenitis maximowicziana</i> (Miq.) Ching	4.97	10.7	28.8
オニカナワラビ	<i>Arachniodes simplicior</i> (Makino) Ohwi var. <i>major</i> (Tagawa) Ohwi	0.053	0.120	74.5
ハカタシダ	<i>Arachniodes simplicior</i> (Makino) Ohwi	4.20	9.26	29.0
リョウメンシダ	<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi	3.13	3.58	153
ヤブソテツ	<i>Cyrtomium foutunei</i> J. Sm. var. <i>foutunei</i>	0.009	0.166	82.5
ヤマヤブソテツ	<i>Cyrtomium foutunei</i> J. Sm. var. <i>clivicola</i> (Makino) Tagawa	0.107	0.257	37.8
フモトシダ	<i>Microlepia marginata</i> (Panzer) C. Chr.	0.068	0.143	392
ワラビ	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw. ex Hell.		0.074	95.9
シシガシラ	<i>Blechnum niponicum</i> (Kunze) Makino	0.195	0.044	253
オオカグマ	<i>Woodwardia japonica</i> (L. fil.) Sm.	5.61	11.0	57.2
トウゲシバ	<i>Lycopodium serratum</i> Thunb.	5.28	11.3	45.9
ミゾシダ	<i>Stegnogramma pozoi</i> (Lagasca) K. Iwats. subsp. <i>mollissima</i> (Fischer ex Kunze) K. Iwats.	1.20	1.27	109
ヤワラシダ	<i>Thelypteris laxa</i> (Franch. et Savat.) Ching	0.283	0.177	228
ホラシノブ	<i>Sphenomeris chinensis</i> (L.) Maxon	0.047	0.110	71.3
シダ以外の植物				
ジャゴケ	<i>Conocephalum conicum</i> (L.) Dumort	2.86	3.11	195

環境浄化植物を探る：愛媛県砥部町万年地域の例

Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Cd	Sb	Ba	Pb
0.404	1.81	14.9	38.7	0.981	55.4	78.9	0.234	0.685	57.7	4.91
0.417	1.54	10.1	26.5	0.481	65.6	75.3	0.143	0.260	79.9	3.29
0.110	1.12	6.90	19.9	0.210	25.7	83.0	0.266	0.118	119	3.55
0.023	1.10	7.27	29.0	0.151	29.8	50.1	0.097	0.012	2328	0.572
0.185	1.17	12.4	29.2	0.616	46.6	18.8	0.059	0.163	10.1	0.261
0.017	0.725	7.35	18.2	0.051	59.3	30.0	0.160	0.024	19.2	2.02
0.061	2.26	13.2	43.7	0.182	51.5	44.0	0.314	0.571	58.5	2.77
0.030	0.523	7.43	24.5	0.068	28.5	34.3	0.149	0.036	20.0	1.42
0.209	0.987	7.70	28.7	0.679	14.7	8.64	0.311	0.246	18.2	0.928
0.248	1.19	7.98	23.5	1.60	73.7	10.1	0.042	0.077	13.0	0.628
0.069	4.15	6.92	67.9	0.048	46.8	37.2	0.629	0.073	54.8	0.984
0.087	2.76	8.07	38.2	0.621	72.6	26.0	0.119	0.092	29.9	3.00
0.164	10.9	7.19	63.8	0.034	71.5	19.7	0.806	0.092	56.5	0.450
0.104	1.30	6.45	24.0	0.732	59.0	28.9	0.106	0.395	119	3.37
0.092	6.99	14.4	49.2	0.573	70.9	7.33	0.628	1.10	5.75	
0.082	0.717	7.62	16.5	0.534	19.8	10.5	0.071	0.074	6.24	0.595
0.648	3.34	10.1	27.6	6.33	51.1	83.5	0.116	44.2	56.3	3.84
0.029	0.820	6.17	28.0	0.013	39.6	77.2	0.034	0.007	41.3	0.712
0.031	0.515	5.89	20.0	0.049	38.3	46.0	0.098	0.072	33.5	1.32
0.332	1.85	10.9	52.9	0.092	104	39.0	0.097	0.024	39.7	1.81
0.029	5.44	22.7	56.3	0.012	108	54.5	0.170	0.004	23.6	0.075
0.185	1.13	6.64	23.7	0.395	26.7	415	0.111	0.021	2222	1.39
0.208	1.05	5.67	21.3	0.835	40.1	14.7	0.072	0.289	24.9	1.24
0.111	0.773	4.17	26.6	0.732	39.6	5.47	0.099	1.44	14.7	2.05
0.244	1.45	8.68	29.8	0.264	14.0	215	0.195	0.272	164	3.62
0.145	1.94	11.4	49.4	0.070	76.7	44.0	0.325	0.035	7.75	0.876
0.039	0.852	9.48	27.5	0.051	44.8	11.6	0.200	0.009	5.88	0.370
0.799	2.51	32.8	106	0.519	39.7	31.7	0.830	0.423	40.8	5.43

Table 3. Concentrations ( $\mu\text{g/g-DW}$ ) of trace elements in *Arachniodes standishii* (Moore) Ohwi and soils around the fern, from the Mannen area, Tobe Town.

	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Cd	Sb	Ba	Pb
Collection: September														
<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi 1, top of frond	3.13	3.58	153	0.648	3.34	10.1	27.6	6.33	51.1	83.5	0.116	44.2	56.3	3.84
Collection: December														
<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi 2, top of frond	4.79	10.7	131	0.219	2.28	9.74	35.2	0.865	42.0	46.8	0.277	1.43	52.4	4.69
<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi 2, bottom of frond	5.24	10.8	166	0.280	2.07	10.1	37.9	1.19	36.3	52.6	0.338	2.30	59.2	4.78
<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi 2, root	6.08	11.1	155	0.291	2.00	10.3	42.3	1.40	37.4	55.3	0.285	4.91	68.2	6.02
<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi 3, top of frond	4.89	10.9	54.7	0.105	2.52	7.75	35.3	0.699	17.1	39.2	0.157	0.246	39.9	3.40
<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi 3, bottom of frond	4.57	10.1	63.5	0.127	2.26	8.42	34.2	0.651	20.1	38.1	0.152	0.365	40.1	3.50
<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi 3, root	4.78	10.5	56.4	0.128	2.04	9.31	32.3	0.729	18.6	43.1	0.151	0.847	46.5	3.41
<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi, dead frond	10.0	14.6	122	0.823	4.26	9.21	59.5	3.32	16.8	93.4	0.432	18.3	152	17.1
<i>Arachniodes standishii</i> (Moore) Ohwi, young frond	5.48	12.0	60.6	0.165	8.17	16.5	58.0	0.839	38.5	30.6	0.259	1.27	38.3	2.63
Soil A	34.7	30.3	0.203	7.63	18.3	11.6	75.5	24.7	121	71.5	0.235	14.6	950	29.9
Soil B	34.3	39.8	111	3.03	11.0	9.23	54.4	10.0	140	59.9	0.132	388	1029	22.2
Soil C	33.1	25.0	279	4.33	11.5	10.9	53.6	12.8	124	64.9	0.144	52.4	932	19.7
Soil D	23.5	17.7	126	3.57	7.73	6.81	39.8	19.5	118	72.8	0.209	1.97	988	16.9



度が高い個体には相対的にヒ素濃度も高い。

以上の検討結果から、現時点において、リョウメンシダがアンチモンに関し、集積性があるかどうか判断しかねるが、1個体において他のシダと比較して明らかに高い44  $\mu\text{g/g-DW}$ のアンチモン濃度が認められたことから、今後、培地とシダに含まれるアンチモン濃度との関連性について詳細な室内実験を行い、リョウメンシダのアンチモン集積性・耐性を明らかにする必要性があろう。地殻に含まれるアンチモンの平均的な濃度は0.2  $\mu\text{g/g}$ であるので、万年地域の土壌に含まれるアンチモン濃度(2~388  $\mu\text{g/g}$ )はかなり高いといえる。しかしながら、そのような環境下で自生し、さらに比較的アンチモンを吸収しやすいという特徴をもつリョウメンシダは、今後アンチモンの環境浄化の可能性を秘める植物となるかもしれない。

#### まとめ

愛媛県砥部町万年地域に自生するシダ植物を中心に28種類について、微量元素濃度を分析した。その結果、ほとんどのシダは、特定の元素に関する集積性は認められなかったが、リョウメンシダは、アンチモン濃度が高い(44  $\mu\text{g/g-DW}$ )個体が確認された。今後リョウメンシダのアンチモンに対する集積性をより詳細に評価するためのポット実験を行う予定である。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、愛媛大学総合科学研究支援センター設置の誘導結合プラズマ質量分析計を使用した。本研究には、平成17年度愛媛大学研究開発支援経費(特別推進研究)を利用した。ここに感謝の意を表します。

#### 文献

- Brown, S.L., Chaney, R.L., Angle, J.S., Baker, A.J.M., 1995, Zinc and cadmium uptake of *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, **59**, 125-133.
- 千葉悦子・榊原正幸・佐野 栄・堀 利栄・中井芳恵, 2005, 愛媛県砥部町の万年安山岩体の化学的風化における主要・微量元素の挙動. 愛媛大学理学部紀要, **11**, 39-46.

- Ma, L.Q., Komar, K.M., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y., and Kenelley, E.D., 2001, A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*, **409**, 579.

- 中井芳恵, 2004, 愛媛県砥部町における砒素に富む変質安山岩の環境岩石学的研究. 愛媛大学理工学研究科修士論文.

- 大野浩一・佐野 栄・榊原正幸, 2006, 愛媛県砥部町砥部川水系の河川水の微量元素濃度. 愛媛大学理学部紀要, **12**, 11-18.

- 榊原正幸・千葉悦子・近石沙知子・中井芳恵, 2005a, 愛媛県砥部町における万年安山岩体周辺の地質および熱水変質作用. 愛媛大学理学部紀要, **11**, 19-26.

- 榊原正幸・中井芳恵・千葉悦子・近石沙知子・佐野 栄・堀 利栄, 2005b, 愛媛県砥部町の万年変質安山岩体のボーリングコアにおける硫化鉱物の産状および砒素濃度. 愛媛大学理学部紀要, **11**, 27-37.

- 佐野 栄・岡田知子・榊原正幸・千葉悦子, 2005, 愛媛県砥部町の砒素に富む万年変質安山岩体周辺の河川水中の微量元素濃度. 愛媛大学理学部紀要, **11**, 47-57.

- 田崎耕市・高橋治郎・板谷徹丸・Grapes, R.・鹿島愛彦, 1990, 四国北西部の中央構造線に貫入した安山岩のK-Ar年代. 岩鉱, **85**, 155-160.

- 田崎耕市・加々美寛雄・板谷徹丸・永尾隆志, 1993, 四国北西部の中央構造線に沿う酸性火山岩の起源とK-Ar年代. 地質学論集, **42**, 267-278.