

Evaluational Equipment for Biological Weathering

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Tazaki, Kazue メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/47783

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



岩石の微生物腐食の評価装置

(研究課題番号 05554012)

平成7年度科学研究費補助金(試験研究B(2))研究成果報告書

平成8年3月

研究代表者 田崎和江

(金沢大学大学院自然科学研究科)

は し が き

地球の地殻および水圏には、いたるところに微生物が多数生存し活発にその生を営んでいる。極地から熱帯、深海底までとても高等動植物が生存できない苛酷な環境条件においても、微生物はその環境に適合して生息している。その微生物のなかには、高等な動植物にとっては有害で致命的な効果をもつ物質を栄養として取り込み繁殖している微生物がいる。この作用は、汚染された環境から有害物質を細胞内に取り込み無機化し、かつ鉱物化し固定する働きがある。この生体鉱物化作用を利用することによって、岩石、土壌、鉱物の微生物による腐食、変質、二次生成物を評価し、そのメカニズムを解明することにより腐食の対策や環境浄化に役立てることができる。本研究では、風化、変質、微生物腐食、汚染された岩石、鉱物、土壌、コンクリート中の化学成分やその分布、深度、状態を、本研究補助金で製作した低真空ウエット走査型電子顕微鏡を用いて明らかにした。この研究結果は、産業廃棄物処理場や放射生廃棄物の保管地帯の安全保護に役だつのみならず、新素材の開発や医療分野にも適用できる。なお、このバクテリアの浄化作用や微生物腐食を利用した研究は、海外においては石油の流出汚染などに積極的に行われているが、国内においては鉱山跡など限られた汚染地域のみ適用されているにすぎない。

本研究補助金で製作した低真空ウエット走査型電子顕微鏡と位相差偏光顕微鏡とで実験試料（腐食した岩石、鉱物、土壌、コンクリート、鉱山の鉱砕、バイオマット、水中の懸濁物など）を観察および化学分析し、同時に岩石試料は、光学顕微鏡、X線回折分析や質量分析を行った。

8000-45288-X

金沢大学印刷局印刷

岩石の微生物腐食の評価装置

研究組織

研究代表者： 田崎和江 （金沢大学大学院自然科学研究科、地球環境科学専攻）
教授
鉱物の同定と電子顕微鏡観察

研究分担者： 飯泉 滋 （島根大学総合理工学部地球資源環境学科）
教授
岩石の記載と化学分析

研究経費

平成5年度	1 1 2 0 0千円
平成6年度	1 9 0 0千円
平成7年度	1 2 0 0千円
計	1 4 3 0 0千円

目 次

- (1) 平成5－7年度 試験研究B (2) 実績報告書要旨
- (2) Abstract of Research Project
- (3) 学会誌への研究論文の公表
- (4) 学会での口頭発表
- (5) 出版物

岩石の微生物腐食の評価装置

生体鉱物化作用を利用することによって、岩石、土壌、鉱物の微生物による腐食、変質、二次生成物を評価することができる。また、そのメカニズムを解明することにより腐食の対策や汚染環境の浄化に役立てることができる。本研究では、風化、変質、微生物腐食、汚染された岩石、鉱物、土壌、コンクリート中の化学成分やその分布、深度、状態を、本研究補助金で製作した低真空ウエット走査型電子顕微鏡を用いて明らかにした。その結果は下記のとおりである。

1. アイスランド、ニュージーランド、別府における間欠泉、温泉、地熱地帯で採取した微生物腐食サンプル、バイオマットを電子顕微鏡で観察した結果、珪藻やシアノバクテリアの細胞内外にFe, Si, Ca, Al, As, Sなどの元素の濃集と各種の鉱物の生成が認められた。

2. 現生の淡水性のバクテリアがマンガンや鉄を濃集し非晶質物質を生成することを水と堆積物を用いた培養実験で確かめた。

3. 微生物関与によるマンガン物質の生成と比較するために、化学的生成のコントロール実験も行い、その生成物の形態や生成条件が異なることを明らかにした。

4. ウラン鉱床周辺の岩石、土壌、水、植物を採取し、ウランの濃度、分布、濃縮状態を明らかにした。

この研究結果は、産業廃棄物処理場や放射生廃棄物の保管地帯の安全保護に役立つのみならず、新素材の開発や医療分野にも適用できる。

当初に計画した研究目的を十分達成した。その研究成果は日本粘土学会、世界粘土会議、世界生体鉱物学会、世界地質環境汚染シンポジウムでそれぞれ学会講演を行った。さらに、1994年12月にオーストラリアで行われた世界微生物無機化学シンポジウムで発表した。また、国内、海外の学術雑誌に1993年から1996年3月までに40編の論文を公表した。

ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECT, GRANT-IN-AID
FOR SCIENTIFIC RESEARCH (1995)

- 1. RESEARCH INSTITUTION NUMBER : 13301
- 2. RESEARCH INSTITUTION : Kanazawa University
- 3. CATEGORY : Grant-in-Aid for Developmental Scientific Research
- 4. TERM OF PROJECT (1993 ~ 1995)
- 5. PROJECT NUMBER : 05554012
- 6. TITLE OF PROJECT : Evaluational Equipment for Biological Weathering.
- 7. HEAD INVESTIGATOR 80211358, Kazue TAZAKI, Kanazawa Univ. Graduate School, Prof.
- 8. INVESTIGATORS

	REGISTERED NUMBER	NAME	INSTITUTION, DEPARTMENT, TITLE OF POSITION
(1)	80032639	Shigeru Iizumi	Shimane Univ, Faculty Sci, Prof.
(3)	"	"	"
(4)	"	"	"
(5)	"	"	"
- 9. SUMMARY OF RESEARCH RESULTS

Abstract: Metal sorption and biomineralization largely reflect the availability of dissolved metals in hydrosphere systems. The metal-loaded bacteria has profound implications for the transfer of metals from the hydrosphere to the sediments. Microorganisms will have played an important role in metal deposition under various temperature conditions. The microorganisms concentrate aqueous dissolved metals onto cell walls and at intracellular sites, during the life cycle, and strongly bind metals during early diagenesis. A sequence is observed in which amorphous cations concentrated at cell walls are progressively transformed to microcrystalline aggregates of carbonate, silicate, Mn-Fe oxides, and clay minerals. The bioprecipitated oxides and oxyhydroxides act as scavengers for heavy metals such as Cu, Pb, Zn, Cd, Sr, and U, in the aqueous toxic-metal dispersion environment. The biomineralization of bacterial cells has been followed in a laboratory simulation by electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy. Several kinds of bacteria were examined for the ability to remove heavy metals from solution. SEM-EDX, TEM, XRF and XRD results indicated that most of metals accumulated at the cell surface as crystalline precipitates after several days of aging.

10. KEY WORDS

(1) LV-Wet SEM-EDX (2) Microbial Mats (3) Bacteria
 (4) Biominerals (5) T. E. M. (6) Fe, Mn, Zn, U, As
 (7) Mining (8) Sediments

ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECT, GRANT-IN-AID FOR SCIENTIFIC RESEARCH (1994)

1. RESEARCH INSTITUTION NUMBER: 13301
2. RESEARCH INSTITUTION: Kanazawa University
3. CATEGORY: Grant-in-Aid for Scientific Research (B)
4. TERM OF PROJECT : (1992-1994)
5. PROJECT NUMBER: 04453052
6. TITLE OF PROJECT: Bacterial Biomineralization and the Mechanism.
7. HEAD INVESTIGATOR: 80211358 Kazue TAZAKI
Kanazawa University, Department of Earth Sciences, Professor
8. INVESTIGATORS: (1) 20202509 Masahide AKASAKA
Shimane University, Department of Geology, Associate Professor
9. SUMMARY OF RESEARCH RESULTS

Microorganisms are very important in all transport processes of elements in earth environmental systems. Microorganisms contribute particularly to the fixation of tremendous range of metals and minerals in contaminated areas. There are many examples of microbial remediation in the modern environments. In this projects, the mechanism of microorganisms for remediation of metal fixation is investigated for various cases, such as mining area, hot springs, sediments, and weathered granit, by using electron microscopical techniques. Microorganisms exhibit a profound ability to bind metallic ions of Fe, Mn, Cu, U, and As, and this allows cell to serve directly as nucleation sites for biominerals. The biomineral deposits in bacterial intra- or extra-cell are shaped as crystals with a well-defined structure. The remediation appear applicable to a wide range of contaminants in natural environments. The results of biomineralization in the earth environmental system are reported in various international and national journals.

10. KEY WORDS

- (1) Bacteria, (2) Bioremediation, (3) Biominerals,
- (4) Scanning electron microscopy, (5) Transmission electron microscopy, (6) Cell, (7) Biomineralization.

<総合研究B> (1995)

バクテリアによる生体鉱物化作用の放射性廃棄物処分への応用

田崎和江 (金沢大学大学院、自然科学研究科)

1950年代からの核爆発や原子炉でできた放射性物質の水生生物への濃縮は、環境汚染物質の生物濃縮として注目されている。低濃度の有害物質が海洋や河川に放出され、希釈されたとしても安全であるとは言えない。近年、日本海に大量の放射性廃棄物が投入されているが、その後の<生物濃縮>のチェックの体制もなく、有害廃棄物の移動や拡散のシステムも不明であり社会不安を引き起こしている。使用済み核燃料の地中処分についても土壌微生物による放射性物質の濃集や地下水への影響など安全面の基礎データが極度に不足している。

地球の大気圏、水圏、地圏のあらゆる場所に微生物は生息しており、それらは地球に存在するすべての元素や物質の循環に関わっている。温泉や地熱地帯、深海底のブラックチムニーの周辺など過酷な高温生育環境にさえもシアノバクテリア(藍藻)をはじめ耐熱性細菌などの微生物が生息し、microbial mats(バイオマット:微生物被膜)を生成している。このような微生物は外部からイオンを細胞内にとりこみ、はきだしながら細胞内外にカルサイト、マグネタイト、ブーセライト、マグヘマイトなどの生体鉱物を作っている。縞状鉄鉱石は先カンブリア時代のシアノバクテリアが作った堆積構造物(ストロマトライト)である。イエローストーン、アイスランド、オーストラリア、韓国、日本の各地の温泉や地熱地帯、鉱山などから採集したさまざまなバイオマットの中には、Ca, Si, S, Fe, Mn, P, Srなどを含んだ生体鉱物が報告されている(Tazaki et al., 1994, 1995, 1996)。これらのXRF分析は、ある種のバイオマット中には、FeやMnとともに0.07-0.32%の多量のSrの濃集を示した。これは、バイオマットが周囲に存在する微量の重金属や放射性物質を容易に濃集する場を提供していることを示している。地球環境の放射性廃棄物による汚染問題がクローズアップされている今日、微生物の生体鉱物化作用を応用した汚染の浄化が注目される。

河川、湖沼、温泉、地熱地帯の生態調査を行い、微生物の活動によっ

て形成されるバイオマットの種類、環境、生態系、特性、形成の過程を電子顕微鏡レベルで明らかにする必要がある。特に、バイオマット中のSrやUなどの放射性物質を吸着、吸収、固定、鉱物化するメカニズムを明らかにし、放射性廃棄物の処理に使える可能性のあるバクテリアを培養する。さらに、現地と実験室でバクテリアを培養し、二次的生成物の微細構造や化学組成を分析電子顕微鏡でミクロンレベルの観察を行う。オープンシステムとクローズドシステムでの生体鉱物の多様性や生成過程を調べることは、鉄やマンガンなど一般的な元素とともに放射性物質の濃集のメカニズムや相互関係を明らかにすることができる。この実験生体鉱物学からのアプローチと現地での環境観察結果を総合することにより、水圏および地圏における放射性廃棄物を無害な形（生体鉱物）として直接処分することができると考える。

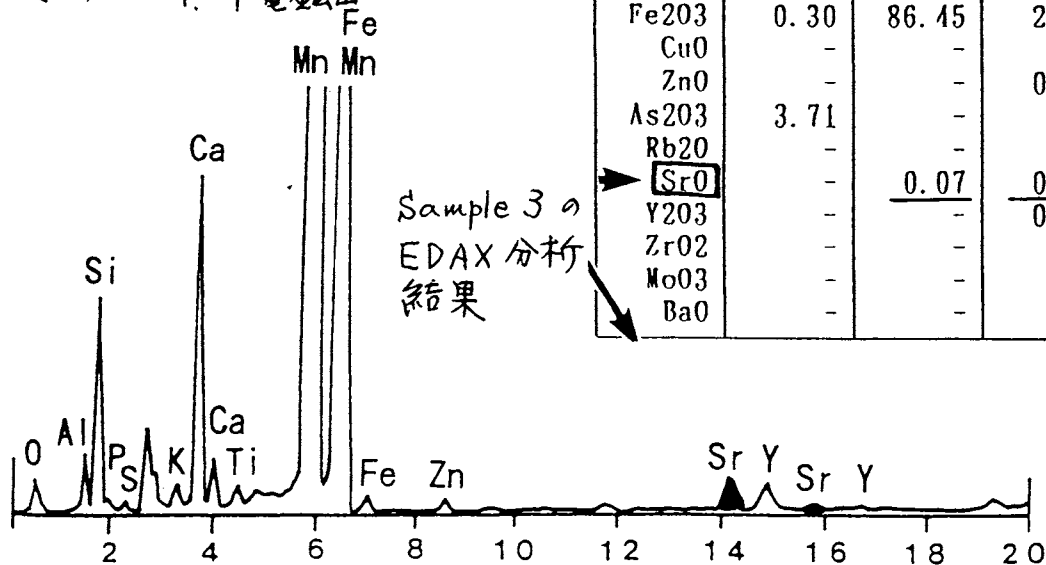
バイオマットを用いた Sr の濃集試験

第1表 バイオマットの XRF 分析結果

Sample	1	2	3	4
Na2O	1.05	-	-	0.61
MgO	-	-	-	-
Al2O3	-	-	4.22	-
SiO2	24.97	8.84	9.89	1.21
P2O5	-	0.45	0.04	-
SO3	69.73	0.31	0.22	-
K2O	0.24	-	0.42	-
CaO	-	2.94	4.81	10.3
TiO2	-	-	0.19	-
MnO	-	0.93	76.80	83.72
Fe2O3	0.30	86.45	2.63	0.10
CuO	-	-	-	-
ZnO	-	-	0.15	2.06
As2O3	3.71	-	-	0.19
Rb2O	-	-	-	-
SrO	-	<u>0.07</u>	<u>0.32</u>	<u>0.22</u>
Y2O3	-	-	0.31	-
ZrO2	-	-	-	-
MoO3	-	-	-	0.49
BaO	-	-	-	0.21

Wt %

- Sample 1. N. Z. ワイオタプ
- " 2. 全沢大学 キャンパス
- " 3. 韓国 東草
- " 4. 中 韓 鉉山



Sample 3 の EDAX 分析結果

業 績 目 録

1993年から

田 崎 和 江 (1996年3月まで)

研 究 論 文

- 105) 1993 : 炭質物の微細形態—透過電子顕微鏡による四国中央部の秩父帯, 御荷鉢緑色岩帯, 三波川帯の泥質岩中の炭質物の観察—.
地質学雑誌, 99, 91-104, 大島智子, 田崎和江, 高須晃.
- 106) 1993 : 地球環境中のイオウと微生物. 地球科学, 47-3, 251-270.
田崎和江.
- 107) 1993 : 生体鉱物化作用によるバイライトの生成. 粘土科学, 33, 36-43, 堀坂明生, 田崎和江, 野田修司.
- 108) 1993 : Thiobacillus ferrooxidans によるジャロサイトおよびアンモニオジャロサイトの生成実験. 地球科学, 47, 493-506, 小岩崎浩一, 本坊好正, 田崎和江, 森忠洋.
- 109) 1993 : Significance of iron layer as an indicator to determine the microbial corrosion of concretes. Jour. Construction Man. and Eng., No.474/VI-20, 125-131, Nonaka, T. Ismail, N. Tazaki, K. and Mori, T.
- 110) 1993 : Electron microscopic observations of oil-derived fly ash particles from Kuwait origins over Matsue, Japan. Proceeding of ISGA Osaka '92, 184-189, Tazaki, K. and Watanabe, H.
- 111) 1993 : Processes of formation of bacterial iron and carbon minerals. Science Rep. of Kanazawa Univ., 38, 59-77. Tazakai, K.
- 112) 1993 : A biomineralization of diatom in acidic stream sediments. Science Rep. of Kanazawa Univ., 38, 95-106. Pires, L.C. and Tazakai, K.
- 113) 1993 : Mineralogical assemblages and distribution trends of Deep-sea sediments from Izu-Bonin Arc Leg 126, ODP. Science Rep. of Kanazawa Univ., 38, 79-94. Zhou, G. and Tazakai, K.
- 114) 1994 : Aerosol nutrients for Arctic ice algae. Research and Exploration, 10, 116-117, Tazaki, K., Fyfe, W.S., Iizumi, S., and Noda, S.
- 115) 1994 : Clay aerosols and Arctic ice algae. Clays and Clay Mineral, 42, 402-408. Tazaki, K., Fyfe, W.S., Iizumi, S., and Noda, S.
- 116) 1994 : Microstructure and chemical composition of duckbilled dinosaur eggshell. Science Rep. of Kanazawa Univ., 39, 17-37. Tazakai, K., Fyfe, W.S., Noda, S. and Curie, P.J.
- 117) 1994 : Observation of carbon by electron microtechniques. Earth Sciences (Chikyu Kagaku), 48, 395-411. Tazaki, K.
- 118) 1994 : Oxygen-isotope fractionation in gibbsite: Synthesis experiments versus natural samples. Geochimica et Cosmochimica Acta, 58, 5267-5277, Bird, M.I., Longstaffe, F.J., Fyfe, W.S., Tazaki, K. and Chivas, A.R.
- 119) 1994 : We can see global change with electron microscopy. Proc. Inter. Symp. on Geo-environments, The Road from Rio, 19-24, Tazaki, K.
- 120) 1994 : Mineralogical and chemical characteristics of biomats from the mining and drainage area. Science Rep. of Kanazawa Univ., 39, 47-63, Tazaki, K., Zhou, G. and Koiwasaki, K.

- 1 2 1) 1 9 9 4 : バクテリアを用いた環境汚染の浄化. 地質学雑誌, 1 0 0, 4 3 6 - 4 4 1. 田崎和江.
- 1 2 2) 1 9 9 4 : 地球における炭素の循環, 地球科学, 4 8, 2 7 5 - 2 7 8, 田崎和江, 高須 晃.
- 1 2 3) 1 9 9 4 : スリランカ産グラファイトの元素カラーマップ分析, 地球科学, 4 8, フォト16-19, 高須 晃, 田崎和江.
- 1 2 4) 1 9 9 4 : 電子顕微鏡で見るスメクタイトの三態. SMECTITE, 4, 1 2 - 2 6, 田崎和江.
- 1 2 5) 1 9 9 4 : ミクロの世界が示すグローバルチェンジ, 写真測量とリモートセンシング, 3 3, 5 0 - 5 7. 田崎和江.
- 1 2 6) 1 9 9 5 : 微生物関与による淡水性マンガンノジュールの初期生成, 地質学雑誌, 1 0 1, 8 7 - 9 8, 田崎和江, 服部竜也, 岡 美登子, 飯泉 滋.
- 1 2 7) 1 9 9 5 : 間欠泉バイオマット中のバイオミネラリゼーションの電子顕微鏡観察, 地質学雑誌, 1 0 1, 3 0 4 - 3 1 4, 田崎和江.
- 1 2 8) 1 9 9 5 : 酸性降水物の特性—金沢市の大気汚染を例にとって—, 地質学雑誌, 1 0 1, 3 6 7 - 3 8 6, 田崎和江, 周国平, 馬飼野光司ほか13名.
- 1 2 9) 1 9 9 5 : 微生物がつくる鉱物, 地質ニュース, 4 8 9, 1 7 - 3 0. 田崎和江.
- 1 3 0) 1 9 9 5 : 1 9 9 5 年 2 月 1 8 日 落 下 < 根 上 隕 石 > 概 報, 地 球 科 学, 4 9 - 2, フォト71-76. 石渡 明, 笹谷啓一, 田崎和江, 坂本浩他12名.
- 1 3 1) 1 9 9 5 : 地球環境問題と環境地質学, 中部土壤肥料研究会, 1 - 1 1, 田崎和江.
- 1 3 2) 1 9 9 6 : バクテリアがつくりだす縞模様, 月刊地球, 1 8, 9 - 1 7. 田崎和江, 山村 健, 長井広恭, 小岩崎浩一.
- 1 3 3) 1 9 9 6 : バクテリアによるイオンの濃集と実験生体鉱物学—環境鉱物学のすすめ—, 田崎和江, 鉱物学雑誌, 2 5, — (印刷中).
- 1 3 4) 1 9 9 6 : Transformation of carbon to graphite. Allied press in honour of Prof. W.S. Fyfe, The National Academy of Sciences India, Tazaki, K. and Dissanayake, C.B. (Accepted, in press).
- 1 3 5) 1 9 9 6 : Biomineralization of layer-silicates and hydrated Fe/Mn oxides in microbial mats; an electron microscopical study. Clays and Clay Minerals, 44, Tazaki, K. (Accepted, in press).
- 1 3 6) 1 9 9 6 : Neptunium-237 in hemp-palm leaves of "Bontenchiku" for the fishing gear used by the fifth Fukuryu-maru: 40 years after "Bravo". Health Physics, Yamamoto, M., Ishiguro, T., Tazaki, K., Komuro, K. and Ueno, K. (Accepted, in press)
- 1 3 7) 1 9 9 6 : Seasonal variation of gypsum in aerosol and its effect on the acidity of wet precipitation. Atmospheric Environment, Zhou, G. and Tazaki, K. (Accepted, in press)
- 1 3 8) 1 9 9 6 : Effect on narcissus plant by exhaust emissions derived from diesel engine. Earth Sciens (Chikyu Kagaku), 50, Tazaki, K., Zhou, G. and Makaino, K. (Accepted, in press).
- 1 3 9) 1 9 9 6 : 河川の生物地球科学—金沢市の河川の環境を例として—, 地質学雑誌, 田崎和江, 周国平, 牧野裕, 西田佐織, 青木歩, 松本和也 (査読中)
- 1 4 0) 1 9 9 6 : 卵殻の微細構造—現生鳥類, は虫類, 恐竜類との比較—, 地質学雑誌 堀 信雄, 田崎和江 (査読中)

- 141) 1996 : Transportation and neutralization of acid pollutants by mineral aerosols.
Zhou, G. and Tazaki, K., 地質学雑誌 (査読中)
- 142) 1996 : Bacteria as nucleation sites for authigenic minerals. Tazaki, K.,
Ishida, H. and Fyfe, W.S., 地質学雑誌 (査読中)

著 書

- 8) 1995 : Calcite deposition in a hot spring microbial mat from Iceland. In; Clays
controlling the environment, G. J. Churchmann, R.W. Fitzpatrick, and
R.A.Eggleton (Eds.), CSIRO, Australia, 30-37, Tazaki, K., Ishida, H. and
Fyfe, W.S. (分担執筆)
- 9) 1995 : Biomineralization of iron in ammonite: Exceptional preservation of
anatomical structure in fossilized ammonite. Inter. Biomineralization Proc.,
Monaco, Tazaki, K. (Accepted, in press).
- 10) 1995 : 風化作用による鉱物の生成と変化；鉱物の科学，東海大学出版会，
124-127, 田崎和江. (分担執筆)
- 11) 1995 : バクテリアによる鉱物化作用；鉱物の科学，東海大学出版会，
154-158, 田崎和江. (分担執筆)

そ の 他

- 15) 1994 : Third International Symposium on Applied Bioinorganic Chemistry の
報告，地質雑誌，101, 108-109, 田崎和江.
- 16) 1995 : バクテリアによる生体鉱物の生成機構. 文部省科学研究費報告書，
p. 1-250. 田崎和江.
- 17) 1995 : <地球科学における微生物の役割>金沢合同ゼミ報告，地質雑誌，
101, 479-480. 田崎和江.
- 18) 1995 : <地球表層物質-粘土鉱物と微生物>赤倉合同ゼミ報告，地質雑誌，
101, 1014-1015. 田崎和江.

国際学会での発表および招待講演 (1993-1996)

- 28) 1993: Clayey dusts feed Arctic ice bacteria. 10th Inter. Clay Cong., Adelaide, Australia, Tazaki, K. and Fyfe, W.S.
- 29) 1993: Biomineralization in environmental geology employing electron micro techniques. 10th Inter. Clay Cong., Adelaide, Australia. Tazaki, K.
- 30) 1993: Estudo das rochas sedimentares clasticas do topo da bacia Carajas. 13th Brazilian Palaeontology Congress, Unisinos, Brazil. Lindenmayer, Z.G. and Tazaki, K.
- 31) 1993: Biomineralization of iron in ammonite: Exceptional preservation of anatomical structure in fossilized ammonite. 7th Inter. Symp. on Biomineralization, Monaco. Tazaki, K. and Fyfe, W.S.
- 32) 1993: Challenge to global environmental problems. Seoul University, Dep. of Geology lecture. Seoul, Korea, Tazaki, K.
- 33) 1994: What are we breathing ? Atmospheric particles and the electron microscope. Science: towards the 21st century, Faculty of Science, '92-'93 Lecture Series. London, Canada, Tazaki, K.
- 34) 1994: We can see global change with electron microscopy. Inter. Symp. Environmental Geology, Tokyo, Tazaki, K.
- 35) 1994: Experimental biomineralization by cultured bacteria. 3rd Inter. Symp. on Applied Bioinorganic Chemistry, Perth, Australia. Tazaki, K.
- 36) 1995: A preliminary report on the Neagari meteorite fall on February 18th, 1995. Antarctic Meteorite XX, Tokyo, Ishiwatari, A., Sasatani, K. and Tazaki, K.
- 37) 1996: Biomineralization of alumino-silicates and Fe/Mn oxides in microbial mats. 30th Inter. Geological Cong., Beijing, China, Tazaki, K.
- 38) 1996: Bacterial biomineralization associated with clay minerals. 30th Inter. Geological Cong., Beijing, China, Ueshima, M. and Tazaki, K.
- 39) 1996: Transportation and neutralization and acid pollutants by mineral aerosols. 30th Inter. Geological Cong., Beijing, China, Zhou G. and Tazaki, K.
- 40) 1996: Influence of geological world heritage sites on cultivating ethics. 30th Inter. Geological Cong., Beijing, China, Tawara, K. and Tazaki, K.

地球環境における鉱物学

地球をとりまく環境は、三圏（大気－水－地殻）の相互作用の他に生物圏が加わることにより、多種多様な物質循環システムを生みだしている。様々な地球環境問題を解決するには、従来の物理、化学、生物、地学の境界領域の研究と、電子顕微鏡レベルからグローバルな物質循環レベルへと大きな視野に立った研究が要望されている。私が行ってきた25年間の研究内容は「大気、水、土、そしてバクテリア」のキーワードに要約される。

（1）大気中の微細粒子に関する研究

大気中の黄砂は、日本海側に飛来するだけでなく、北極圏やハワイ群島まで飛んでいく。中国大陸で発生した黄砂は、他の大気汚染物質と共に長距離輸送されながら化学反応をおこし変質する。黄砂現象時の粘土鉱物と大気中のガス、エアロゾルの季節的挙動を知ることは、大気中の物質循環や輸送システムを知る上で重要である。北陸および山陰地方は、他の工業地帯のような大規模な大気汚染源がないにもかかわらず、年平均pH4.7という酸性雨、雪が降り注いでいる。この中のNO_x、SO_xの含有量と鉱物組成、化学成分を知るために、定期的に大気中のNO₂の測定とエア－サンプラーにより採集した大気中の塵、雨、雪を電子顕微鏡で観察した。その結果、湾岸戦争の時には、クウェートの油田火災による指紋構造を持つ炭素粒子がジェット気流にのり偏西風下の日本に降下し、黒い雪を降らせている証拠を上げた。また、大気中の硫黄酸化物は、しばしば空中でジブサムを生成し、その含有量は季節的に変化することを明かにした。さらに、炭坑周辺の大気中には重金属を核とするすすがあり、飛来する間に水の薄膜ができ、親水化したすすは、肺や粘膜に付着しやすいことを示した。これらの研究成果は、国際学会および国際誌に発表した。国際共同研究では、北極、カナダ、ブラジル、韓国の大気調査も行くグローバルな大気汚染物質の循環を示した。現在植物園で、すすを用いた大気汚染の植物への影響実験を行っている。

（2）水－鉱物の相互作用における粘土鉱物の生成

地球内部からもたらされた岩石、火山噴出物、鉱物は地殻表面に出現するとただちに水や空気に触れ、風化や変質を起こし、物質の移動とともに溶脱した物質は新たに二次物質を生成する。その現象の一つが粘土化作用である。地球上を広く覆っている火山性堆積物、とくに普遍的に認められる斜長石の風化は、地殻における元素の移動と循環に大きく関与している。分析電子顕微鏡を用いて、斜長石の風化過程を明かにし、部分平衡的にハロイサイトやギブサイトが生成することを示した他、斜長石の表面にイモゴライトが生成することを世界で初めて報告した。さらに、高分解能電子顕微鏡により、カリ長石の風化の初段階でカールヘア状の低結晶性の粘土ができることを明かにし、"Primitive clay precursors"と命名し、国際誌に発表した。

また、一方、非晶質物質は、ある条件下で結晶性の物質に変わる。例えば、火山ガラスに水が加わると、元素の配列がおこり、容易に結晶性の粘土鉱物に変化することを、電子顕微鏡を用いてオンゲストロームのオーダーで解明した。この変化過程は、形態、結晶構造の観察だけでなく、SIMS, ESCA, Auger, 重イオン加速器を用いて化学的な証明を行ない、国際誌に発表した。このガラス中の構造水の研究は、放射性廃棄物処理の安定性を考える上で重要であり、論文や著書にまとめた。また、粘土鉱物と有機物が融合するとさらに強力な結合力を示すこと、アパタイトなどは放射性物質をよく吸収することなどの研究結果から地球環境保全への鉱物学の貢献を示した。

(3) 水—堆積物—微生物の相互作用と生体鉱物

私は、地球科学分野は勿論のこと、生物学、医学、農学の分野の研究者と様々な共同研究を行い、情報、知識、研究方法を得て、地球環境における生体鉱物の生成のメカニズムを探ってきた。カナダにおいては、鉱山、鉱床周辺の汚染された堆積物や河川に生息する微生物を電子顕微鏡や近代分析機器を用いて観察した結果、溶存する(重)金属イオンをそこに生息するバクテリアが選択的に濃集、固定し、様々な生体鉱物をつくっていることを明かにした。例えば、ウラン鉱床周辺のシアノバクテリアや藻類は多量の放射性物質を取り込み細胞壁に濃縮し、室内実験ではウラン鉱物を形成した。また、河川や地熱地帯のバクテリアは、Mn, Fe, Ca, Si, Sなどを容易に取り込み、(水)酸化鉄鉱物、炭酸塩鉱物、珪酸塩鉱物、硫化鉱物を生成していた。これらの研究成果は、多くの国際誌に掲載された。

日本においては、鉱山、鉱床、温泉地、河川にみられるバイオマット(Microbial mats: 微生物被膜)を採取し、微分干渉、Wet-SEM-EDX, HRTEM(超薄切片)で観察し、カルサイト、アラゴナイト、ジブサム、ハライト、ブーセライト、トドロカイト、クリストバライト、パイライト、As-S 鉱物、粘土鉱物、水酸化鉄鉱物などが、バクテリアの細胞の内外に多量に生成しているのを認めた。電子線回折でははっきりとしたパターンを示さない非晶質物質も多い。

一方、常温、常圧の室内実験や野外実験で、数日という短期間で、バクテリアに生体鉱物をつくらせることに成功した。例えば、コンクリートの微生物腐食実験から、チオバチラス属が硫化水素を得て、独立栄養的にコンクリートを酸化し、ジブサム、カルサイト、ジャロサイト、二次エトリンガイトが生成した。また、活性汚泥中にZnやCuを投入することにより、球菌やカン菌がリンと一緒にZn, Cuを細胞内外に取り込み、15日でトルコ石が生成した。さらに、*T. ferrooxidans*を9K培地で培養すると、3-5日で高結晶度のジャロサイトを得た。河川の堆積物と水を用いたバクテリアの培養実験からは、3-7日でブーセライトと水酸化鉄鉱物が生成した。一方、マメ科植物を用いた大気汚染実験から、維管束内にジブサム、カルサイト、ハライトの鉱物を得た。これらバクテリアや生物の関与で生成した生体鉱物は、汚染環境の浄化、新材料物質の開発、医療分野への貢献へと社会的要請に大いに応えられる〈応用鉱物〉である。