

解 説

私の研究遍歴 —温泉から地球環境問題へ—

名古屋大学名誉教授
北野 康

Record of my Geochemical Study —From Hot Spring to Global Environmental Problem—

Yasushi KITANO
Emeritus Prof. of Nagoya University

はじめに—私の研究遍歴を示していると思われる私の書いた論説と著書

2002年9月6日、下呂温泉で開かれた日本温泉科学会で私は上記の題目で特別講演をしたが、その講演内容を原稿にまとめるよう要請された。さて、この筆を執り始めて私はそれこそハッと以前私は日本温泉科学会誌に私の研究遍歴のようなことを書いたように思え、本の置いてある小屋で探したところ、ありました。1988年に書いたものです。すっかりそんなことを忘れてしまっていた。全く情趣もない書き出しで恐縮だが、私が単独で書いた私の研究遍歴が示されているように思える論説を、次いで著書を紹介させていただくことをお許しいただきたい。

〔論説〕 炭酸塩堆積物形成に関する地球化学的研究（1986年度日本海洋学会賞受賞記念論文），*Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, 42, 402-420 (1986)；炭酸塩堆積物の私の研究遍歴—温泉の石灰華から海の炭酸塩まで—，*日本温泉科学会誌*, 38 (4), 163-174 (1988)；地球化学の目でみる炭素の循環，*地学雑誌*, 102 (6), 664-684 (1993)；地球環境における炭酸塩堆積物に関する研究（1996年度日本地球化学会柴田賞受賞記念論文），*地球化学*, 31, 211-226 (1997)

〔著書〕 水と地球の歴史，NHK ブックス，日本放送出版協会，224p. (1980)；地球環境の化学，化学選書，裳華房，237p. (1984)；炭酸塩堆積物の地球化学—生物の生存環境の形成と発展，東海大学出版会，391p. (1990)；化学の目でみる地球の環境—空・水・土，裳華房，152p. (1992)；新版水の科学，NHK ブックス，日本放送出版協会，254p. (1995)；大気・海洋の化学像形成と地球温暖化—地球環境における炭酸塩物質の発言，東海大学出版会，213p. (2000)；地球の自然像と地球環境問題，裳華房（本年出版予定）。これらを示して私は大分気が楽になったように思え，温泉—大気・海洋—地球温暖化へと歩んできた私のこの50数年間の研究遍歴を以下，散文的に書かせていただく。その背景には常に炭酸塩物質（ CaCO_3 ）があった。化学的見地からの推移はここで示した私の文献に具体的に記述されている。

1. 地球化学を生涯の仕事に私が選んだ背景

私は海のない山梨県の空と山と水の奇麗な甲府盆地南端の田舎で生まれ、旧制中学校までをそこで過ごした。父はその開業医で親戚にも医者が多く、子供の頃から私も医者になるのだろうかと思っていた。だが私は大変臆病で血を見るのが恐ろしく、医者には不向きだと少年の私は悩んでいた。甲府の所謂受験校の旧制中学で受けた、初めに法則ありきという物理と化学の授業には全くついてゆけなかった。或る日突然教えられる法則にどうして自然が従わねばならないのかと幼い頭は混乱するばかりであった。そんな頃、私は寺田寅彦全集（岩波書店）に遭遇した。その第4巻に載せられている“科学者とあたま”を次のように受けとめて私は心を熱くした。“頭がいいと思ひ、利口だと思ふ人は先生になれても科学者にはなれない。科学者は物分りの悪い呑み込みの悪い朴念人でなければならない。頭の力の限界を自覚して、大自然の前に頭の悪い自分を投げ出して飛び込み、大自然の直接の教えにのみ傾聴する覚悟があつて初めて科学者になれる。科学者になるのには自然を恋人としなければならない。恋は盲目である。頭のいい人には恋はできない。自然はその恋人にのみ真心を打ち明けてくれるものである”。少年時代その入口の前でつまづいて一步も門の中に入れなかった自然科学に心を通わせてみようという思いだけで、結局大学は理学部、そして化学科を正直に言って消去法で決めた。決断は速かった。

さて1945年8月15日の終戦の日、私は北海道帝国大学理学部化学科の1年目が終わる頃の学生であった。旧制高校は戦争中2年半に短縮されていたのである。この日の午後、物理と化学科の学生は寺田寅彦先生の高弟で、雪の中谷宇吉郎先生の一般物理の講義をうけた。その日、中谷先生はこんな話をして下さった。“戦争が終わった。これからは外国から文献が入ってくるだろう。その時、特に実験科学研究者は戦勝国と戦敗国の豊かさの違いに愕然とするに違いない。戦勝国と敗戦国の実験科学者は自動車と人力車で競争するようなことになる。同じ道を走る限り人力車が自動車より速く走れるわけではない。ただ人力車が自動車より早く目的地に着ける可能性はある。それは人力車が自動車の通れないバイパスを走ることだ。バイパスとは変化と変動に富む日本の自然だよ。日本の自然を実験室と見たててごらん。それは豊かだよ”。私はこれだと思った。地球化学を生涯の仕事に選んだきっかけであった。

3年目になった1946年、私は迷うことなく、温泉の地球化学的研究を続けてこられた太秦康光教授の分析化学教室で卒論を書くことにした。私は地球にだけふんだんにある水の地球化学的研究をライフワークにと若いなりに密かに決意した。卒業論文のテーマは戦争末期に登場した有珠昭和新山の火山灰の化学的研究であった。火山灰の文献探索の過程で当時気象研究所におられた三宅泰雄先生の書かれた、寺田寅彦先生の思いに近いように見える、大変ユニークな短かい火山灰の論文を発見して感動した。早速気象研の三宅先生を訪ねたが、その1946年以後先生の逝去された1990年まで、実に厚い御教導と御配慮をいただいた。1947年9月大学を卒業し、私は三宅先生の御勧めで1948年の初め、海洋気象台（運輸省）の囑託になり、内地留学を命ずるという辞令をいただき、北大太秦研究室で研究生生活を送ることにした。

2. 温泉の化学的研究—水の研究への出発

太秦研究室で研究を始めた1948年、青森県廳の企画で行われた青森県地下資源調査に際し、温泉班が構成され、北大太秦研究室の研究員によって構成された。私は7月の初めから1ヶ月間あまり青森県の次に示す温泉の現地調査とその後の化学分析に参加した：碓ヶ関、湯の沢、久吉、大鰐、藏館、温湯、落合、板留、二庄内、沖浦、青荷、切明、温川、酸ヶ湯、谷地、蔦、浅虫、下風呂、湯

の股, 恐山, 瀬野川目, 湯野川。

地球上の水の研究の出発時に化学研究者として温泉に巡り合えた幸運を沁々有りがたいと思いつけてきた。日本に恵まれた、実に多彩な化学組成を持つ温泉水にまず遭遇できたことである。これが米国などの研究者とは違う私の水地球化学研究の原点であったと思う。もう1つ、私の心を吸引して離さなかったのは、碓ヶ関村の久吉温泉で見た石灰華 (CaCO_3) であった。その頃の分析化学分野では水に難溶な純粹の塩を作ること、難溶塩を生成する母液中の少量・微量元素がどのようにその難溶塩中に入りこむのかというのが課題の1つでもあった。久吉温泉で沈積している石灰華を眺めて、実験室では絶対作ることができない、難溶塩の CaCO_3 の多彩の美しい結晶形態を見て、私は唯々驚嘆した。

私は海洋観測にも参加し、最終的には水を含めた地球上の水の97%を占める海洋水の主要化学組成が全海洋で見事に或る一定の値になっている、その機構を明らかにすることだろうなあなどと考えたりした。

3. 温泉の石灰華 (CaCO_3) の研究

私は海洋気象台を辞任して、1949年9月に太秦研究室の助手となった。そんな時、太秦研究室は二股温泉の石灰華の調査・研究を依頼された。私はそれにとびついた。二股温泉は函館本線の長万部駅の隣り、二股駅の西方約12kmの山中にあり、ここでは石灰華が約3万坪にわたって散在しており、厚さ10mほどの石灰華の丘がある。そもそも CaCO_3 は1つの化学物質でありながら3つの違った結晶形を持つ同質多像形物質である。その同質多像形生成を規定する因子について戦前、米国で論議されてきたが戦争で一時休止状態にあり、それが戦後再び開始される気配が見えた。

不安、貧困、解放、野心の交錯する戦後の若い私を引き付けるのに十分なドラマがそこにはあった。私は温泉の湧出機構などには関心がなく、 CaCO_3 の同質多像形晶出と、温泉水とそれから晶出する CaCO_3 への微量元素の分配だけに関心をもって、1948~51年の3年間に1年に3度ほどずつ二股温泉にいそいそと出かけた。終戦直後で、湯治客も殆んどいない静かな温泉宿に私は泊めてもらい、温泉水や石灰華の調査や採集をしたり、また泉源から浴槽まで温泉水が木の樋で引かれている場所や浴槽を実験室とみだてて上記の課題についての観測をしたり、温泉水から CaCO_3 を作ったりした。“決して貧しくはない”と二股山中の空気や樹々に吐息した感慨は今でも新鮮である。 CaCO_3 の結晶形を規制するのは温泉水のpH、 CO_2 と Mg^{2+} の濃度であり、その解析もほぼでき、 CaCO_3 沈積物の物理・化学的解析からそれが生成された温泉水の化学組成や温度が大ざっぱではあるが推定できるほどになった。3年ほど通う間に、思いもしなかったほど色々なことがわかった。その成果を東大の木村健二郎先生や東工大の岩崎岩次先生は高く評価して下さいました。そんな成果を学会で発表するうち、三宅先生から石灰華の面白いことはよく分かった。もう少し global なことをしたらと度々コメントを受けることになった。

それは海の生物性炭酸塩の研究をしたらということだと思ったが、当時の日本では海の炭酸塩の調査ができる状況にはなかった。1950年代に入るや、米国では海の生物性炭酸塩が大きく脚光をあび、活発にその調査・研究が進められた。炭酸塩物質の化学的性質から古代海水の化学像を描き出し、海水の起源と進化に挑もうという、強い意欲がまざまざと感じられた。私は海の炭酸塩の研究は本場の米国に行つて行なうべきだと考え、日本に恵まれている温泉の石灰華の研究に固執した。

1951~52年には3度ほど函館市の要請で湯の川温泉を訪れて、源泉水を水道水用の配管で旅館に配湯している間に起こる CaCO_3 析出を防止することについてアドバイスしました。

さて、神戸大学の理学部創設に関連し、私は1952年北大から神戸大学に移った。神戸大学では日

本で石灰華を沈積している下記の 17 温泉を取りあげ、それらの石灰華の比較検討をした。この仕事には東大の南 英一先生と東京都立大の野口喜三雄先生から温かい励ましと御教導をいただいた：二股、湯ノ川、弟子屈、鹿部、濁川、久吉、夏油、増富、瀬波、湯の股、白浜、塩原、伊香保、谷津、峯、熱川、伏目。ここでは CaCO_3 の同質多像形の生成環境と規制因子が更に検討でき、また石灰華中の Mg, Fe, Mn の存在状態を私の発案した分別溶解法で決定もした。なお神戸大学在職中の 1953 年には気象研究所の三宅泰雄先生と猿橋勝子博士、そして神戸大学の私と当時若かった多賀光彦君（北大名誉教授）と坪田博行君（広島名誉教授）が参加して、1 l に 40~70 g もの化学成分を溶存している有馬温泉に度々出かけて調査・研究を遂行した。

また京都大学土木分野の石原藤次郎教授と矢野勝正教授の要請で、私は山くずれの自然災害が忘れないうちにやってくる六甲山域をフィールドに岩石- H_2O - CO_2 間の化学反応の調査を行なった。その結果、渓流水の $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 濃度または HCO_3^- 濃度から山くずれの場所と規模を予知することに成功した。この研究で水と岩石の相互作用を理解するうえでの有用な知見が得られた。

4. 海の生物性炭酸塩研究へ転進

神戸大学で 5 年間過ごした時、菅原 健教授の御発案による名古屋大学での水の地球科学研究所創設に関連して私は菅原先生に招かれて神戸大学から名古屋大学理学部に 1957 年に移り、菅原先生と御一緒でき、停年まで名大水圏科学研究所で過し、本当に恵まれたことであった。名大では全国の河川水を集めて分析もしたが、次項 5 で述べるような CaCO_3 に関する基礎研究に着手した。機が熟したと私なりに判断して 1960 年 2 月初めに私はメキシコ湾のサンゴの調査・研究ができるテキサス A&M 大学海洋学部に三宅先生のお薦めで出かけ、まず 2 年 3 ヶ月滞在した。この間、度々メキシコ湾の調査に出かけた。一方生物性炭酸塩を考慮し、炭酸塩殻を生成する海の生物の外套液に溶存している有機物質の CaCO_3 の結晶形生成への役割を明らかにする基礎的な実験も行なった。温泉を背景にした私のアプローチは欧米のこの分野の研究者には私が予期した通り、ユニークだと評価され、米国での私の研究は大変順調に進んだ。それこそすばらしい師と友人を沢山持つことができたことは私の研究生活にとって何物にも代えがたい宝となった。米国では多額の金と多くの時間を費やして世界方々の海域に出かけて生物性炭酸殻の調査をしてきており、観測データは実に豊富であった。そんな豊富なデータを使って私は CaCO_3 の結晶形に注目して炭酸塩殻を作る生物を分類し、海の生物性炭酸塩を明確に整理した。こうして私は海の生物性炭酸塩研究に着手した。充実した最初の渡米後、私は海の生物性炭酸塩を求めて、メキシコ湾、ハワイ、フィリピン、オーストラリア、ニュージーランド、マレーシア、台湾、ベルギー、桂林（中国）、そして沖縄には 27 回も出かけて現地調査をしてきた。UNESCO の IOC（政府間海洋学委員会）による沿岸海域の化学環境監視と題するプロジェクトが設置され、私は沿岸海域の炭酸塩を通して環境監視をという視座でこれに参加し、UNESCO の東南アジア海域におけるこの線の検討委員会の議長（1975~82）を仰せつかったりもした。ともかく海の生物性炭酸塩物質の研究を通して、海水の進化という大課題に挑戦する拠りどころがつかめたように思えた。

5. CaCO_3 について私が行なった基礎研究

大きくわけると後述する 4 課題になろう（1958~90）。日本での研究費の貧しさは頭は使わないが神経を使い、金はいかからないが労力と時間をふんだんに必要とする実験室内の基礎実験に終始せざるをえなかったというのが本音である。私の CaCO_3 の研究は温泉で始まった。温泉では $\text{Ca}^{2+} + 2$

$\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ という無機化学反応を通して CaCO_3 は生成されている。私の基礎実験には常にこの反応系を用いた。 CaCO_3 の懸濁液に CO_2 を吹きこんだあと、ろ過するとろ液は Ca^{2+} と HCO_3^- を溶存する $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 水溶液になる。この水溶液は Ca^{2+} と炭酸物質だけを溶存している。この水溶液に色々の無機塩や海の生物の外套液に溶存している各種の有機物を溶かしこみ、その水溶液を静置、または攪拌して CaCO_3 を生成させ、溶存物質の動きを検討した。本来この反応は均質沈殿反応で、再現性のある結晶が得られ易い利点はある。従来、基礎実験には $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^-$ という溶液系が使われてきた。この反応系では常に Na^+ と Cl^- が溶存しており、更にこの反応は本質的に複雑であることを確認し、報告した。温泉から出発した私は特別の思いなど全くなく、当然の思いで上記の反応系を基礎実験で用いたが、その成果を報文にしたら直ちに米国の或るグループから私の用いた反応系は基礎実験に最も適しているとされ、彼らはこの反応系を The Kitano's Precipitation Reaction と呼んだりもした。ともかく次のような検討をした。(a) 母液に溶存する 2 価陽イオン、1 価陽イオン、無機陰イオンおよび各種の有機物の、その母液から晶出する CaCO_3 の多様な結晶(方解石、あられ石、パーテライト)生成への影響、(b) 母液に溶存する 2 価陽イオン、1 価陽イオンおよび無機陰イオンの、その母液から晶出する CaCO_3 中の含有量——特に 2 価陽イオンの分配係数、(c) 自然に存在しうる水溶液からの常温・常圧下における (Ca, Mg) CO_3 (うになどの海の生物性炭酸塩殻に普遍的に見出せる) およびパーテライトの合成、(d) あられ石および (Ca, Mg) CO_3 の二次的变化。

こんな基礎実験を行なってみて CaCO_3 は世にも不可思議な物質だなあと驚かされ通しであった。それは実験してみて初めてわかったのである。化学的常識では到底予想もできないことである。その中の 1 つだけを紹介しておこう。普通の自然環境下では CaCO_3 には方解石とあられ石の 2 種の結晶が存在する。2 価の陽イオンについて言うと、 Ca^{2+} よりイオン半径の小さい Mg^{2+} などは方解石の CaCO_3 に入り易く、あられ石の CaCO_3 には入りにくく、一方 Ca^{2+} よりイオン半径の大きい Ba^{2+} などはあられ石に入りやすく、方解石には入りがたい。このことは化学的に十分考えることである。さて私が基礎実験で確認したことは、母液に溶存するイオン半径の小さい Mg^{2+} などは自らは入りがたいあられ石の CaCO_3 を作りやすくし、一方イオン半径の大きい Ba^{2+} などは自らは入りがたい方解石の CaCO_3 を作り易くするという、全く思いがけない事実であった。母液中に溶存する 1 価の陽イオンは方解石の CaCO_3 を作り易くするのに、方解石には入りがたくあられ石の CaCO_3 に入りやすいのである。 SO_4^{2-} を除く無機陰イオンは方解石の CaCO_3 を作りやすくするのに、方解石には入りにくく、あられ石に入り易く、 SO_4^{2-} だけはあられ石を作りやすくするのに方解石に入り易いのである。 Ca^{2+} や Mg^{2+} と錯体を作り易い有機物は方解石を大変作り易いことも確かめた。私は実験する度に興奮し続けてきたが、これらの成果はこの分野の研究者を大変驚愕させた。こんな基礎的研究で得られた事実を基に私は常温・常圧下で水溶液から今まで誰にもできなかった (Ca, Mg) CO_3 の合成に成功した。

これは私の研究成果の中で特筆できるものだと自負している。研究費の乏しかったばかりにこんな金のかからぬ、しかし多大の努力と時間を要した実験に明けくれたことを想い、金の乏しかったことも悪くはなかったなあと思ったりしている。この実験過程では東大の南 英一先生から常に温かい励ましをいただいた。ともあれ、温泉の石灰華から出発した私の CaCO_3 の研究は、欧米の研究者とは違った私なりの成果が得られたのだと思う。

6. 大気と海水の起源と進化に対する炭酸物質の発言

生物の生存場は空・水・土である。詳しい説明ははぶくが、生物と生物の生存場を結ぶのは地球

にだけ満々と存在する液体の水であると私は考えている。そこで水に主役を演じさせて生物の存在場の起源と変遷を描き出そうと心がけてきた。水ほどありふれたものはない。しかし水ほど不思議なものもない。分子量たった 18 の軽い水分子が私どもの住む自然環境で液体の水、更に固体の水も存在すること、固体の水が液体の水に浮かぶこと、4℃ で液体の水の体積が最も小さくなること、水が物を溶かす偉大な能力を持っているなど、不可思議極まりない水だけを眺めていては水の起源も進化も描きがたい。そこで私どもは水の代弁者を選ぶのだが自然の化学像に関心の強い地球化学研究者は、現地球の大気、水圏、生物圏の事実上の材料である二次原始大気でも多量の水蒸気の次に多い CO₂ を水の代弁者に選んだ。CO₂ の歴史にはその最大の貯蔵物である石灰岩 (CaCO₃) を考えざるをえない。現地球の大気は 1 気圧下 CO₂ は 0.03% を占めており、これが生物の生存に最適である。46 億年前に地球と同時に生まれ、太陽の周りをまわっている兄弟星で両隣りの金星の大気は 90 気圧 CO₂ 97% そして火星の大気は 1/132 気圧 CO₂ 95% である。結論めいたことを言うと、そもそも地球の原始大気も 30 気圧 97% CO₂ であったが、主として海の生物が CaCO₃ の殻を作って堆積させ、また陸上の緑色植物が有機物を作って堆積させるなどして CO₂ を固定化して大量の CO₂ を大気から除いて 1 気圧 CO₂ 0.03% にしてくれたのである。また海の生物性 CaCO₃ の化学的性質がそれが生成した海水の温度、pH、化学組成などを指示してくれることが明らかにされてきたが、それらの理解に 5 項で述べた私の基礎実験成果が役立っていると評価され、私は幸である。また私は Ca²⁺ や炭酸物質の地球化学的収支から現地球における CaCO₃ の堆積速度を推算したり、炭素の地球における動きの解明に努めてきて、海水の起源や進化という課題に取り組んできた。

7. 地球環境問題、特に地球温暖化問題

1980 年代に入るや、国境を越え、次の世代にまで影響する地球環境問題が登場してきた。その中で最も難しい課題は CO₂ を最大の元凶とする地球温暖化問題だと認識されることになった。私は地球温暖化の研究者などとは決して思いもしていなかったのに、特に米国や日本の友人達から貴方は地球温暖化の最も近くを、すなわち CO₂ に取り組んできたのだから温暖化問題に時間と労力を提供すべきだと言われ、この問題ですっかり忙しくなってしまった。1988 年 5 月、わが国では当時の環境庁が国連の動きを一寸先どりした形で地球温暖化問題検討委員会を創設、その創設時から現在まで私は委員長を仰せつかってきた。そんなわけで国際連合枠組条約締約国会議の COP3 の京都会議、COP4 のブエノスアイレス会議、COP6 のハーグ会議などに NGO として出席し、私なりの感慨を持った。地球温暖化については私も沢山書いてきたし、実に多くの報文もあるので、書きたいことは沢山あるが紙面の制約上、これ以上書くわけにはゆかない。私は今まで私が貯えてきた化学的知見を通して、非科学的な発言・主張をする自然科学研究者達にきつくコメントもしてきた。地球温暖化は大気の課題であるが、大気中の CO₂ 濃度理解の鍵は大気⇄海洋中の CO₂ の収支にあると思え、水の問題であると私は考えている。

ともあれ、水-炭酸塩-地球温暖化は私にとっては全く無理なく連なっている課題であることを最後に述べさせていただこう。尻切れとんぼのようなものになってしまったが御寛容いただきたい。