

私論「地球化学の広域的視野を探る， とくにその社会的機能」

杉崎 隆 一*

(2013年3月26日受付，2013年7月4日受理)

Search for the social function of geochemistry as a personal opinion

Ryuichi SUGISAKI*

* Emeritus Professor, Nagoya University
2-204 Idakadai, Meito, Nagoya, Aichi 465-0028, Japan

There are two distinct points of view which might be called the ideal and realistic pictures of science: One appears to be concerned only with discovery and contemplation of truth. The other concerned with only its usefulness (practical application). Throughout any plan of scientific advance it would be necessary to keep a just proportion between fundamental and applied research and to maintain at all times the closest contact between them. In this paper the author presents three examples that show social function of geochemistry. One is the research providing the ground water pollution caused by civil engineering. The other is earthquake prediction by means of behavior of crustal gases erupted from mineral springs and active faults.

Key words: Social function of geochemistry, Earthquake prediction, Groundwater pollution

はじめに

日本地球化学会は発足（1963年）以来，この2013年に50周年を迎える。それを記念して古い会員で何か参考になるようなことをのべるようにと依頼された。日本の地球化学の初期の歴史については，松尾（1988）や北野（2003）などの総説に詳しいので，ここでは触れないこととし，とくに最近の本会の研究分野について，個人的に感じていることを私論として，述べさせて頂きたい。私は現学会の母体である地球化学協会の発足（1953年）の1年後に名古屋大学理学部の地球科学科を卒業し，以後，地球化学の研究に携わって来た。私のすべての研究の概要は杉崎（2007）に纏めてある，本稿では私が行なって来た研究の中で，とくに社会的な分野と幾分関係があった（或いは関係を持つべき）ものについてとりあげ，地

球化学の分野で将来の発展について考慮すべき点についての個人的な感想を述べてみたい。

地球化学に携わっている研究者は大学でいえば理学部関係者が多いように思われる。理学は工学，農学，医学などの実学と異なり，その研究成果が人間社会に役にたつか否かは余り重視されない。一例をあげると名古屋大学の理学部が発足したのは昭和17年であり，最初，数学，物理学，化学の3学科のみであった，戦争が激烈の時代で，生物学は“ヒマ仁の道楽”とみられ，新設が認められなかった。しかし50年後の今日，生物学はバイオテクノロジーの基盤を為すものである。このような歴史を見る時，どの分野が人間社会に，より多く貢献するかを評価でき難い面がある。それで理学の研究者はとくに基礎的な分野を目指すこととなる。それは立派なことであるが，悪くいえば，そのような態度は理学分野の研究者として安住し易い面もあろう。理学の研究者は自己の専門分野の原理的部分の開拓に情熱を燃やしているようで，その結果が他の分野は勿論，広く，社会にどう繋がっているか

* 名古屋大学名誉教授
〒465-0028 愛知県名古屋市名東区猪高台2-204

は、余り深く考えていないように思われる。一方、実学の世界でも理学の成果の理解が不十分で、学問全体として、無駄なことも多いように見える。私の長い研究生活の中で私が関係した地球化学の成果を他の分野でもっと理解し、利用して頂けばそれなりに良い結果が得られるのと思った場面があり、そのうちの若干のケースを実例として述べる。

(1) 開発に伴う地下水質の変動：1970年頃、名古屋市地下鉄工事が始り、その時に工事に伴ってpHが4に近い酸性の地下水があちこちでみられた。私は卒業研究以来地下水の研究にも携わって来たので、このことに興味をもち、この酸性水は高濃度の硫酸イオンに由来することは直ぐ分かった。pH 4以下の地下水では500 ppmの硫酸イオンが含まれていた。しかしその硫黄がどこから由来したかは釈然としない。そこで、硫黄の同位体組成を調べたら、硫酸濃度が高いものほど δS^{34} が低い。この値は土木工事に多量に使われるセメントや付近の川の δ 値よりも遥かに低く、粘土層中の硫化物や硫酸塩の δ 値に極めて近い。濃尾平野を構成する地層は陸近くで堆積し、有機物が多く、還元的な環境にある。従って、海水中の硫酸イオンは還元され硫化物となって地層中に含まれる。そこでこのような地層を土木工事などによって掘削し地下水位が低下すると、空気が地下に浸透し、硫化物に触れ、それらを酸化して、硫酸酸性の地下水を供給することとなる(杉崎・藤崎, 1975)。

以上のことと関連するが、2003年に岐阜県可児市で大きな環境問題が起こった。愛知、岐阜、三重の3県を結ぶ東海環状自動車道という高速道路の建設が行なわれ、その東側の部分はすでに完成しているが、この道路では多くのトンネルが中生界の地層を貫通している。そこから掘り出された土砂は膨大なものであり、それが可児市の山間部に積み上げられた。その盛土からは、地下水が浸出して、部落の近くの小さな池に注いでいる。近くの部落の人たちが魚釣り大会をやるために、その池に多くの淡水魚を放流したところ、魚は一晩でみな死んでしまったという事件が起こった。当然のことながら、可児市と工事担当者の国土交通省が対策協議会を立ち上げ、その問題に取り組むこととなった。それ以前の地下水研究の経験が役立つかと思って、要請により私もその会に参加した。委員の中心は土木関係の方々であり、いろいろな対策が提案されたが、その膨大な盛土の表面を不透水性の粘土で覆えば地下に浸透する水が減り、酸性の水が出なくな

るという想定の下に、広い範囲の工事が行なわれた。その時私は地下に浸透する水を減らせば(地下水位を下げれば)、その代わりに空気が浸透し地下の酸化を促進するので、却って逆効果になると警告した。濃尾平野などの地下水の研究から水位が低下すると、硫酸イオンが増加するという経験を得ていたので(杉崎, 1999) そう考えたわけである。一方、土木関係の方は、盛土全体に蓋をしてしまえば、水が循環せず、濃い硫酸酸性水がちょろちょろと、少しぐらい出ても問題はないという見込みであった。それで広い盛土表面を粘土で覆う大工事を行なった。結果としては、排水の量は減少したがpHは依然6以下のものも多く。予想を裏切るものであった。この場合、私の提案に従って地下水位をあげるようになったとして、果たして有効であったか分からないが、その後10年を経過しても、この問題は解決していない。しかし土木関係の方々にもう少し丁寧に説明すべきであったと思っている。このように専門が異なると、なかなか理解し合えないという教訓を得た。因に諸外国でも同様の事件は多く起こっていて、解決に数十年かかるという報告は多い。

(2) 地震予知のケース：地震は地下に歪みが蓄積され、やがて、力学的バランスが失われて起こるものと考えられる。つまり地震は物理現象である。従って物理学的立場から地震の予知を行なおうとするのは当然で、地震の前に起こる歪みの進行に伴う物理的現象を地震の前兆として捉えようとする。これが予知に関する研究事業の大勢を占める地球物理学的な予知方法である。しかし、地震の前兆がすべて物理現象とは限らない。歪みの進行によって引き起こされる非物理学的現象はいろいろあるはずである。私がとり上げた地球化学的な地震予知法は歪みの変化に伴う現象を化学的立場から追求しようとするものである。その経過は杉崎(1985)に纏めてあるので、その後の概略を補足したい。

地下流体で注目したのは“ガス成分”である。この分野では最初、ロシアで地下水中のラドンが地震前に増えたという報告が契機となり、世界に広まったものである。しかし、そのロシアの報告の20年以上前、京大の初田甚一郎先生が1944年の東南海地震の時、ラドンの増加を観測、報告されているが、国の内外で無視され続けてきたことは我々も反省すべきであろう。このような背景で地震に伴う地下ガスの挙動については、専らラドンが検討されてきた。しかし、私は

このような単成分の監視に疑問をもった。地下の破壊の時、例えば CO_2 や CH_4 などのガスも放出されれば、単一の成分のものは希釈されてしまう。そこで、ラドンと同類の放射起源のヘリウムとアルゴンに注目した。各々の親核種であるウラン、トリウムに対するカリウムの岩石中の存在量比は変動が少なく、従って、それらから生成される放射性起源の He/Ar 比も岩石の種類や年代に拘わらず、ほぼ一定の値、10前後となる。ここに至る基本的な考えは、私が地下水の研究に引き続いて、天然ガスの研究を行なっていて、その時のデータを検討した結果、このことに気付いたものである(杉崎ほか, 1963)。この値は空気中のそれ (5×10^{-4}) の2万倍に達する。もしも放射起源のこれらの希ガスが岩石の破壊によって放出され、それが地上に上昇してくれば、容易に検出され得るであろうと考えた。この場合、単一成分の絶対濃度でなく、比を問題にしているから他のガス成分の消長に関係ない。

具体的には名大地震研究施設の志知龍一さんをお願いして、名大犬山観測所の坑内にある小規模の断層から湧出する水から分離するガスを2~3日に一度、採取してもらい、それを大学で分析した。その結果、ガス中の He/Ar 比の変化が近くの地震と相関することが分かり(杉崎・志知, 1978)これを契機として本格的に地震と地下ガスの変動を調べることとした。

私が地震予知の為に瑞浪市の白狐温泉に観測点を設け、永峰健一郎と伊藤貴盛両氏の協力を得て、自動観測を行っていた期間(1982~1996)に大きな地震が2度起こった。つまり長野県西部地震(1984; $M=6.8$, 震央距離50 km)と兵庫県南部地震(1995)であった。特に後者は震央距離220 kmにも拘わらず、 $M=7.2$ と大きなものであり、何れの場合も観測点において、顕著な前兆的なガス組成ならびにガス湧出量の変動がみられた(伊藤ほか, 1996)、これと対照的な事例として、杉浦孜さんは火山ガスの研究の為に、年1度、御岳山の噴気を採取していたが、長野県西部地震の7日前に採集されたガスでは He/Ar 比の他、 H_2 , CH_4 , SO_2 などの濃度が3年ほど前の数十倍から数百倍に達していた。そして、その2ヶ月後にはその比は1年前の値にまで減少していた。震源距離9 kmを考えれば、このように前兆的シグナルが強かったことは納得できよう(杉崎・杉浦, 1986)。兵庫県南部地震では測定の種類と観測の信頼度が向上しており(伊藤ほか, 1994)、私はこの研究方針に自信を持った。しかし、私の定年退官(1995)により、この観測は中

絶した。もしもこの観測が現在まで続いていたならば、東日本大震災(2011)の際、震央距離は大きくても $M=9$ の巨大地震に対して、より有用なデータが提供できたのではないかと残念に思っている。これに関しては私どもがこの種の研究を行っていたのと同じ頃、脇田宏さんが創められた東大地殻化学研究所における場合も同じで、脇田さんの退官後、ここでも実用的な観測などは行なわれていないようで、自然災害に対する地球化学の有効性を立証する好機であったのにと、地球化学の発展の為に惜しまれてならない。

(3) 活断層のケース: 3.11の原発事故以来、各地で活断層の問題が浮上した。報じられた原発近くの断層が活断層であるか否かの論争ははっきりした決着が着き難い問題のように思われる。

私は地震予知の研究に適する観測点を選ぶために名古屋近辺の温泉、鉱泉を調べていた。例えば、白狐温泉は放射能泉でラドンも多いが、湧出ガス中の He 濃度は800 ppmと大気のそれの160倍に達し、明らかに深部起源のものと判定できよう。これに関連して、活断層と地震との関連も注目されていたので、このような深部ガスは断層面からも放出されているのではないかと考えた。そこで、中部地方で活断層と認定されているものを対象として、その断層面にパイプを打ち込み、そこからガスを採取して分析した(杉崎ほか, 1984 a; b)。その結果、高濃度の He などは認められなかったが、 CO_2 と H_2 が活断層を特徴づけるガスだという事が分かった。その起源を探るために、阿寺断層が未固結の堆積物とその下の基盤流紋岩を切っている岐阜県付知町の露頭で調べたところ、 CO_2 は上位の砂礫層中の破碎帯内に、 H_2 は下位の火成岩中のそれに濃縮している事が分かった。前者は炭素同位体比のデータなどから堆積物に含まれる有機物から生成されたものと結論された。断層活動によって破碎された部分では水やガスの流通が促進され、生物活動が活発化したものと判断される。水素については同じ岐阜県坂下町の阿寺断層破碎帯では10%に及ぶ高濃度のものが現れた。そしてその時間的変動を見ると He/Ar 比と同調しており、また O_2 の減少に同期している。この事は H_2 が地下深部ガスの放出を示していると解釈される(杉崎, 1989)。

H_2 の濃度は同一の断層内において大きなばらつきがある。例えば阿寺断層では1 ppm から100,000 ppmまで変動している。そのサンプリングの状態から、空気の混入は避け難く、どこ迄が断層固有のものかは判

定できないが、最高濃度が%オーダーの高いものに着目すると、阿寺、山崎、跡津川、深溝、根尾谷など、本邦を代表する活断層は何れも微小地震を伴うか、有史以来活動の記録があるものである。それ以外のものでは精々100 ppmに過ぎない。前者を歴史断層とよび、最近の活動記録がない後者を先歴史断層とよぶ。つまり断層から放出される H_2 は活動時期が新しい歴史断層で高い。従って、 H_2 は断層活動によって放出されると考えても差し支えないと思われる(杉崎, 1989)。既述の白狐観測点や、御岳山噴気の他にも地震時における H_2 の放出が報告されている。サンアンドレアス断層でも同様な観測があり、断層沿いの地下における蛇紋岩化作用に原因を求める考えもあるが、我々は地震による岩石破壊時における作用で H_2 が発生するモデルを考えた。岩石を粉末にして水を加えると、高濃度の H_2 が発生することを実験的に確かめた。粉末岩石300 gに水80 gを加えたものからは3%という歴史断層に匹敵する高濃度の H_2 の発生を認めた。岩石が破壊されると鉱物の新しい割れ目表面が露出し、それが化学的活性をもち、地下水と反応して H_2 を発生すると思われる(杉崎ほか, 1984b)。このような事は脇田宏さんらも同様な結果を出しておられた。歴史断層は新しい地震活動によって、破碎帯の高い活性が維持されているが、活動から長い時間が経過した先歴史断層ではそのような活性が失われつつあると考えられる。

ところで、3.11以来、にわかに活断層の問題が社会的に注目されるようになった。活断層とはもともと第四紀に(現在から200万年前の間で)活動したものと定義されていたが、最近原発などに関連して論議されているものはもっと新しいものを考えているようである。そして活動時期12~13万年以前まで考慮されている。しかし活動時期を決定することは極めて難しいうえに12~13万年という時期まで考慮することは意味があるか。日本の地質図を見ると、至る所に黒い線が引かれている。これらは本当に断層の場合もあろうが、ただそこに地層の不連続を示す確たる露頭が観察できない為に、地質図の製作者が引いたに過ぎない所謂推定断層がかなりあると思われる。また航空写真などにより直線的な地形があればそれを断層と認定する場合もある。本当に現場をみて充分の調査により認定されたものは少ないのではないか。

私の一つの経験を述べさせて頂くが、濃尾地震(1891年)のとき地表に現われた根尾谷断層の延長

と関係があるものとして、杉崎、柴田(1961)は濃尾平野の井戸のボーリング試料に基づき、一宮一稻沢間のJR東海道線沿いの伏在断層の存在を指摘していた。ところが活断層の問題が注目されるようになり、愛知県では2000年頃、断層が通過するとみられる地域において実施した物理探査とボーリング試料を検討した結果、その地域の新第三紀後期の地層や第四紀層に断層の活動を示すずれや撓曲は認められないとし、それを受けて地震調査研究推進本部地震調査委員会は岐阜—一宮断層は活断層ではないと判断した。このことに関して、愛知県はもともと断層が存在しないところを過って精査していたという調査の致命的な欠陥を杉崎・柴田(2003)は指摘した。断層に限らず、このような自然現象の調査はかなり難しい。

現在、原発の稼働についてはいろいろな見解があり、もしも近いうちに原発を廃止するならば、12~13万年までさかのぼって活動するか否かは問題とはなるまい。ここにも活断層問題には矛盾した見解が交錯しているようである。

おわりに

以上、私が関与した研究のうち社会と関係がある、もしくはその可能性がある数少ない例を述べたが、地球化学の分野でこのような例はそれほど多くないと思う。それは地球化学としての本来の分野からかなり外れているという見方からすれば、このような研究は地球化学的に評価され難い。地震の前兆として古来、生物行動の異常性が指摘されて来た。しかし物理学者が生物の異常行動を検討してもその分野で、高く評価されるであろうか。例えば高名な物理学者であった寺田寅彦は地震前の生物の異常行動を指摘した随筆は残したが、それを実用の段階まで検討した努力まで行なったであろうか。地球物理学者として著名な東大地震研究所の力武常次さんには「動物は地震を予知するか(講談社、ブルーバックス 1978)」という著作があり、古来、国の内外で地震の前兆とみられるべき多くの生物行動異常の実例を纏めている。これを読むと動物の行動を調べることは地震波や重力の異常を調べるのと同様に、予知に寄与できるという印象を持つ。しかし、地球電磁気学の分野で高名な同氏は地震に関して御自分の専門以外の生物行動を材料として、予知に取り組むことはないであろう。このような現象は学問分野の独立性に由来するものであろう。

学問分野には一種の流行のようなものがあり、その

分野で業績をあげると高く評価されることは、別に不自然ではない。しかしその分野の重要性が将来とも継続されるかどうかは分からない。地球化学の例でいえば同位体地球化学が先端的分野として、多くの研究者が参画して成果を挙げてきた。このような時期に、全く別の分野を立ち上げることはそれほどやさしいものではない。すでに確立した分野の指導者は功成り、名遂げていて、違う分野の開拓に貢献することは希であろう。また“二兎を追うものは一兎を得ず”でもある。そうすると、その後継者が指導者とは別の分野を拓くことは難しい。指導者が何か新しい分野では素人のままに後継者を導くこととなるからである。

ひとつの例として太平洋戦争の時の日本軍のシステムをとり上げてみよう。日本海軍のエリート軍人は砲術の専門家であった。これは日本海軍の完璧な勝利の経験の結果であったろう。そして世界最大の戦艦、“大和”“武蔵”を建造した。所謂、大艦巨砲の思想である。太平洋戦争の時期になると、戦力の中心は空軍の時代となったが、その思想は変わらなかった。この戦争の転換期となったミッドウェー海戦（航空戦）で、その指揮官であった南雲忠一は航空の出身ではなく、水雷戦の専門家であり、その一瞬の誤判断が、日本の中心戦力の航空母艦の全滅に導いた。

私は研究対象の関係から、地震学会と地質学会に入会した。そこで開かれる定例学会に出席して、地震学会での会員の若さに強い印象を受けた。もともと地球物理学会は存在せず、その中心は地震学会であったので、そこに集中したと思われるが、若い会員が学会会場を多く占めていた。このような現象は他の学会では認められなかった。その原因は私が関与していた頃に地球物理学の分野の発展が著しく、若者に魅力的な分野と感じられたものであった為だと思ふ。1960年ごろから20年間ほどはプレートテクトニクスの全盛期であり、地学分野の若い人々を魅了したためでもある。地震予知事業の物理独占の態勢にもこのような背景があったと思われる。その間、わが地球化学の分野では1,000人の会員を維持するのに苦労し、地質学会と共にギリ貧の状態にあった。そのような状態から脱却するには、我々の研究成果として魅力的な業績を積み重ねる他あるまい。その為には各研究者がそれぞれの基本的なテーマを継続することには異存はないが、別に、新しい魅力あるものを追い求めることが望ましいのではないのか。2兎以上のものを追求するにはそれなりの努力が必要となる。それを乗り越えて、別に新

しく開拓すべき分野は現在の日本の自然環境から考え、社会的な要請に応え得るものを重視すべきであろうと私は思うのである。そうすることによって新しい分野も拓ける可能性が大きいと信じている。

私事のことで恐縮であるが、私が関係した地震予知と断層活動の研究の発展分野として、マントル炭化水素の発見と、それに関係して衝撃波による有機反応機構の研究を行い、それなりの成果があったと思っている。これは後継者としての三村耕一君の努力に負うところが大きいだが、その一例として示しておきたい。また、最近、地学雑誌121巻、1号（2012）では、地下流体の論文が多く掲載され、また地球化学46巻、4号（2012）では地殻流体の特集が組まれている。これらの成果は地球化学の新しい分野として、直接、社会的機能を果たす可能性をも秘めていると考えている。

最後にひとこと；私の恩師は故小穴進也先生である。この小論をよまれた方は小穴先生が私ども門下生にひどく干渉されたことに対する反発があったのではないかと思われるかも知れないが、先生は指導生に対して無責任に近く放任された。当時はそのことに不平があったが、今となっては良かったと思う。またこれと関連して、私は以前、余り評価していなかったが、社会地球化学という分野の開拓を主張された故半谷高久先生の思想には感心させられている

引用文献

引用文献としては参照されやすいように邦語のものに限った。また、具体的なデータ（図や表）も以下の論文に示してある。英文のオリジナル論文は杉崎隆一（2007）を参照のこと。

- 伊藤貴盛・杉崎隆一・永峰康一郎（1994）地震に伴う温泉ガスの挙動—温泉ガス湧出量自動連続観測装置の開発—。地震, **47**, 241-251.
- 伊藤貴盛・杉崎隆一・川辺岩夫・永峰康一郎（1996）兵庫県南部地震における岐阜県瑞浪市白狐温泉ガスの異常変動。地震, **49**, 65-73.
- 北野康（2003）日本地球化学会の一会員として歩んだ50年。地球化学, **37**, 15-29.
- 松尾禎士（1988）日本地球化学会の25年：回顧と展望（その1）。地球化学, **22**, 123-137.
- 杉崎隆一・柴田賢（1961）地下水の地球化学的研究（第2報）—濃尾平野における地下水と地質構造との関連性—。地質学雑誌, **67**, 427-439.
- 杉崎隆一・大鹿正樹・浜里博（1963）本邦天然ガス田、油田における堆積岩の放射性元素含量と天然ガス中の稀ガスの起源。日本化学雑誌, **84**, 236-241.
- 杉崎隆一・藤崎克博（1975）都市活動に伴う地下水水質の変動について。地球化学, 環境問題特別号, 76-78.

- 杉崎隆一・志知龍一 (1978) 地震の前兆現象としての断層ガス中の He/Ar, N₂/Ar 比の変動. 地震, **31**, 195-206.
- 杉崎隆一・井戸正彦・武田浩・磯部由美子・佐竹洋・林美光・中村則明・水谷義彦 (1984a) 活断層より放出されるガス (1) 炭酸ガスについて—断層ガスの化学的特徴と断層活動—. 地震, **37**, 45-54.
- 杉崎隆一・井戸正彦・武田浩・磯部由美子・佐竹洋・林美光・中村則明・水谷義彦 (1984b) 活断層より放出されるガス (2) 水素について—断層ガスの化学的特徴と断層活動—. 地震, **37**, 55-65.
- 杉崎隆一 (1985) 地球化学的地震予知の基礎的研究—地下ガス組成変化と地殻内での歪変化ならびに破壊現象—. 自然災害科学, **4**, 34-55.
- 杉崎隆一・杉浦孜 (1986) 長野県西部地震に伴う温泉ガス, 火山ガスの前兆的組成変動—地殻歪および岩石破壊と地下ガス組成変動—. 地震, **39**, 99-109.
- 杉崎隆一 (1989) 活断層と地殻のガス情報. 応用地質, **30**, 35-46.
- 杉崎隆一 (1999) 濃尾地下水盆の消長と地下水の水質変動. 日本水文科学会誌, **29**, 41-51.
- 杉崎隆一・柴田賢 (2003) 岐阜—一宮断層の再評価—平野部における断層の認定についての問題点—. 地震, **56**, 281-296.
- 杉崎隆一 (2007) 地球化学的手法によるテクトニクス場と地下深部の研究. 地球化学, **41**, 43-62.