

# 原始太陽系星雲における酸素同位体異常の起源をさぐる

比屋根 肇 (地球惑星物理学専攻)

hiyagon@geoph.s.u-tokyo.ac.jp

コンドライトと呼ばれる始源的隕石は、たとえてみれば原始太陽系の「化石」のようなもので、それを詳細に調べることにより太陽系形成初期に起こったさまざまなプロセスについて知ることができる。特に隕石母天体上での熱変成の影響が少ない非平衡コンドライトと呼ばれる隕石では、隕石を構成している物質が母天体に集積する以前の、それらがまだ原始太陽系星雲内に存在した時期に起こったプロセスの痕跡が残されている。私は、二次イオン質量分析計を用いて隕石中の酸素同位体の局所分析をおこない、そこに見られる特異な酸素同位体異常の分布とその起源について研究を進めている。

二次イオン質量分析計は、EPMA が試料に電子線を当てて出てくる特性 X 線を分析するのに対し、イオン ( $\text{Cs}^+$  や  $\text{O}^-$  など) を加速して試料に当て、試料表面から飛び出してきた二次イオンを質量分析するものである。(したがってイオンプローブともいう。) 試料表面そのものがイオン源となるため感度が高く、また本質的に質量分析計であるため同位体分析ができることが特徴である。たとえば、イオンプローブを用いると直径約  $10\ \mu\text{m}$  のスポットで酸素同位体分析ができる。分析後にできるクレーターの深さは  $1\ \mu\text{m}$  程度なので、分析により消費された試料の量は約  $10^{-7}\ \text{mg}$  である。気体用質量分析計を用いた従来の酸素同位体分析では約  $1\ \text{mg}$  の試料が必要であったから、7桁も少ない量の試料で分析が可能になったわけである。(ただし分析精度は従来の方法よ

り1桁は悪い。)

隕石中の CAI と呼ばれる高温鉱物の塊 (難揮発性包有物) に大きな酸素同位体異常が見られることは、1973年にシカゴ大学の Clayton 教授らによって発見された。酸素は大部分が質量数16のもの ( $^{16}\text{O}$ ; 約99.76%) であるが、ごく微量ながら質量数17 ( $^{17}\text{O}$ ; 約0.04%) と18 ( $^{18}\text{O}$ ; 約0.20%) の同位体が存在する。CAI は  $^{17}\text{O}/^{18}\text{O}$  比が地球や大部分の隕石とほぼ同じなのに  $^{16}\text{O}$  だけが4-5%も多い組成を持つ。それが原始太陽系の酸素同位体の不均一性の反映なのか、ある種の化学反応によりつくられた同位体異常であるのか、その起源については未だに決着がついていない。CAI が高温鉱物の塊であることから、この酸素同位体異常は太陽系形成初期に起きた何らかの高温イベントと関連しているとも考えられる。最近、我々はイオンプローブによる酸素同位体分析技術を駆使して、CAI と同様の酸素同位体異常がオリビン包有物にも見られることを発見した (図1)。オリビン (かんらん石) は隕石中に非常に多く見られる鉱物であるから、この酸素同位体異常は原始太陽系において想像以上に広範に存在した可能性がある。

現在、我々のグループを含め、世界の数カ所の大学・研究機関で精力的にイオンプローブによる酸素同位体分析がおこなわれつつある。ここ数年の間に酸素同位体異常の謎が解き明かされる可能性があるのではないかと期待している。

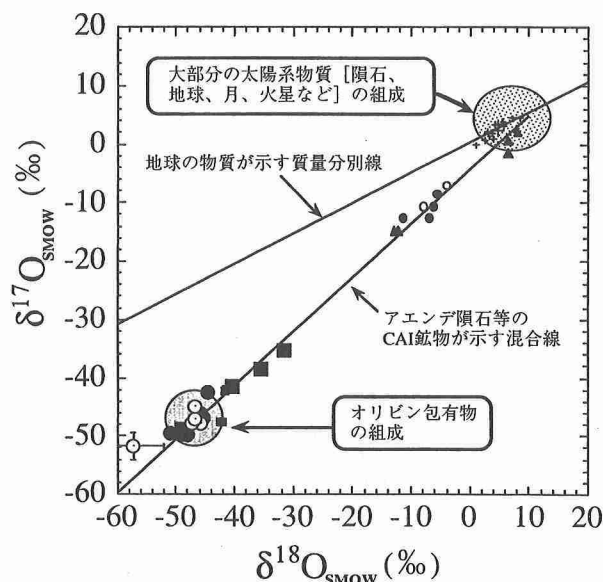


図1 イオンプローブを用いて分析した、Murchison (CM2) および Y-86009 (CV3) 隕石中のオリビン包有物等の酸素同位体組成。これらの包有物中のオリビンは、大部分の太陽系物質と比較して約5%も  $^{16}\text{O}$  が多い組成を持っている。縦軸、横軸は標準海水 (SMOW) との酸素同位体比 ( $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$  および  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) の差を千分率 (‰) で表したものの。(Hiyagon H. and Hashimoto A., Science 283, 828-831, 1999 より)

## 分裂酵母の減数分裂細胞への分化を制御する RNA 結合タンパク質 Mei2

渡辺 嘉典 (生物化学専攻)

ywatanab@ims.u-tokyo.ac.jp

体細胞分裂周期にある細胞がどのような分子機構によって減数分裂様の細胞周期にスイッチされるのだろうか。分裂酵母の RNA 結合タンパク質 Mei2 は、増殖している細胞ではリン酸化によりその活性が抑制されているが、減数分裂過程に入るときには脱リン酸化され機能を発揮する。リン酸化を受けない活性型 Mei2 を発現させるとそれだけで細胞は増殖過程から減数分裂過程への切り替えを行ってしまう。Mei2 は、いわば分裂酵母の減数分裂開始のマスター・レギュレーターである。

Mei2 と遺伝的に相互作用する因子を検索した結果得られた *sme2* 遺伝子は、構造解析の結果 RNA 遺伝子であることが判明した。遺伝子破壊実験によりこの RNA のコード領域の一部をゲノム上から欠失させると、細胞は減数分裂を完全に停止した。そこで、この減数分裂過程 (meiosis) に必須な 500nt ほどの新規の RNA 分子を *meiRNA* と命名した。Mei2 を特異的に認識する抗体を用いて、減数分裂を誘導した細胞の抽出液を免疫沈降すると、Mei2 タンパク質とともに *meiRNA* も共沈してくる。減数分裂過程で Mei2 と *meiRNA* が複合体を形成して機能していることが分かる。

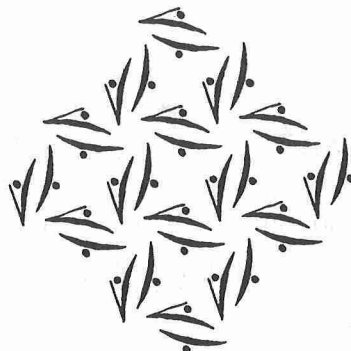
Mei2 の温度感受性変異株の解析から、Mei2 は減数分裂過程で減数分裂前 DNA 合成の開始とその後の減数第一分裂の開始の、少なくとも二つのポイントで必須の機能を果たしていることが分かった。*meiRNA* の遺伝子破壊株は、減数分裂前 DNA 合成にはなんら支障はなく、減数第一分裂がブロックされていた。以上の生化学的および遺伝学的解析から、Mei2-*meiRNA* 複合体は、減数第一分裂の開始に必須の機能を果たしていると考えられる。一方、Mei2 の RNA 結合活性は、減数第一分

裂の開始のみならず減数分裂前 DNA 合成の開始にも必須であり、この時期には Mei2 は *meiRNA* 以外の別の RNA 分子と相互作用しながら機能していることも分かった。

GFP 標識ペプチドを融合させた Mei2 タンパク質の細胞内の局在を調べた結果、体細胞分裂期には Mei2 はおもに細胞質に存在し、減数分裂前期 (Mei2-*meiRNA* コンプレックスの作用時期) に入ると核内の明確な一点に局在した。また、*meiRNA* をもたない細胞では Mei2 タンパク質の核内の局在が見られず、減数分裂は誘導されない。一方、SV40 の核移行シグナルを付加した Mei2 タンパク質は、*meiRNA* をもたない細胞においても、核に移行して減数分裂を誘導することが分かった。これらの事実は、減数分裂に必須な *meiRNA* の分子機能が、減数分裂開始のマスター・レギュレーター Mei2 の核内輸送に限定されることを意味する。現在は、RNA 結合タンパク質 Mei2 の具体的な分子機能および標的因子の解明に取り組んでいる。

### 参考文献

- Watanabe Y. and Yamamoto M. *Cell* 78:487-498, (1994)
- Watanabe Y. et. al. *Nature* 386:187-190, (1997)
- Yamashita A. et. al. *Cell* 95:115-123, (1998)
- 渡辺嘉典、山本正幸 蛋白質核酸酵素 42, 2581-2589 (1998)
- 山下朗、山本正幸 蛋白質核酸酵素 44, 1732-1740 (1999)



減数分裂過程におけるMei2-GFPタンパク質の局在

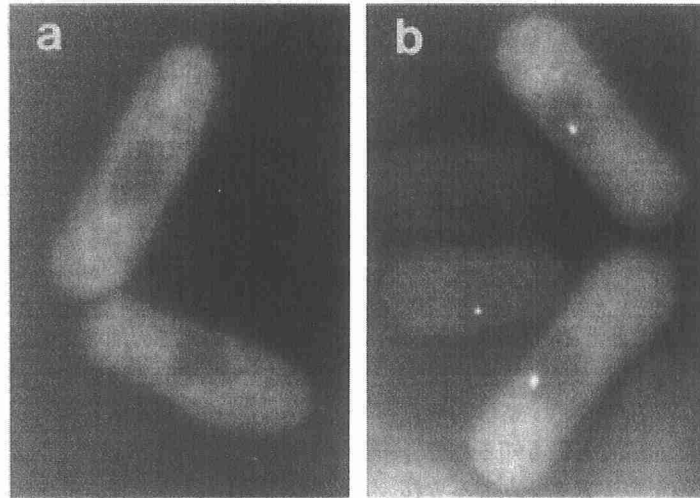


図1 減数分裂開始の前(a)と後(b)のMei2-GFPタンパク質の局在

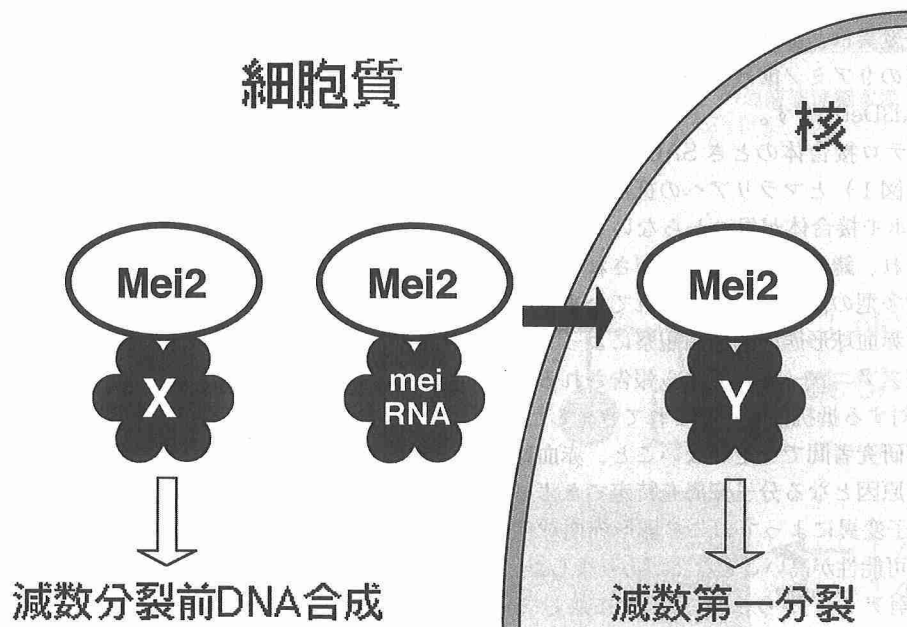


図2 Mei2 は減数分裂過程で細胞質と核内で機能し、meiRNA は Mei2 の核内輸送に機能する。

# マラリアと人類学：東南アジア型卵形赤血球症と遺伝的多様性について

石田 貴文 (生物科学専攻)

tishida@biol.s.u-tokyo.ac.jp

人類学教室と言っていた頃、我々の研究室は人類遺伝学を研究対象としていました。現在では、その研究対象範囲は広がり人類生物学一般を扱うようになってきました。今回の研究紹介は、大学院博士課程の木村正子が主におこなっている研究テーマを紹介しましょう。

マラリアは、世界中で毎年3-5億人もの感染者を出し、現在なお人類にとって深刻な脅威となっています。人類の移住拡散の歴史においても、マラリアは大きな制限要因として存在し、人類集団の生活・行動様式・遺伝子プールに対して影響を与えてきたと考えられています。事実、マラリア流行地に住む人類集団では、本来は疾病として扱われるもののマラリア抵抗性を示す遺伝的形質が高い頻度で報告されています。中でも最も知られているのは、ヘモグロビン異常症の1つでアフリカで見られる鎌型赤血球症でしょう。

我々の住むアジアにおいてはどうか？鎌型赤血球症は見つかりませんが、東南アジア型卵形赤血球症 (Southeast Asian ovalocytosis:SAO) という異型赤血球症の1種が見いだされています。SAOは、東南アジアからメラネシアにかけての限られた地域に見られます。その原因となる分子変異は、赤血球膜タンパク質であるバンド3タンパク質の9アミノ酸残基の欠失、すなわち27塩基対欠失 (Band3Del) です。

Band3Delは、ヘテロ接合体のときSAOの表現型である卵形の赤血球 (図1) とマラリアへの抵抗性を示します。Band3Delのホモ接合体が見つからないことから劣性致死であるとされ、鎌型赤血球症に比肩されるマラリア淘汰圧下の平衡多型の例として考えられています。

卵形赤血球症は、赤血球形態の顕微鏡観察によっておもにマレーシアとパプアニューギニアから報告されるとともに、マラリアに対する抵抗性も示唆されてきました。しかし、判定基準が研究者間で一定しないこと、赤血球形態の観察のみでは原因となる分子変異を特定できずBand3Del以外の分子変異によっておこる卵形赤血球症の影響も含んでいる可能性が高いことなどがありました。そこで、我々は東南アジアからオセアニアにかけてBand3DelによるSAOの分布を明らかにするために、タイ・マレーシア・インドネシア・フィリピン・台湾・パプアニューギニアといった各地域で、遺伝子上のBand3Delのスクリーニングをおこないました。その結果、Band3DelによっておこるSAOは、タイ南部以南、フィリピン以南の東南アジアからオセアニアにかけての地域で、顕微鏡観察により報告されていたよりも低い頻度で分布していることがわかりました。これまでの研究で明らかになったSAOの分布は、オーストロネシア語

族の集団にほぼ限られており、Band3Delが単一起源に由来するものとする、SAOはオーストロネシア語族の集団の移住拡散にともなってその分布を広げてきたと考えられます。

このように、ある集団におけるSAOの有無は、民族の移住・拡散についての手がかりを提供するものであり、東南アジアからオセアニアにおける人類の歴史について考察する際に重要な指標となります。我々は、このSAOを指標とすることによって、東南アジアからオセアニアにかけての地域における人類の拡散の歴史や、マラリアへの遺伝的適応について理解を深めることができると期待しています。

## 参考文献

Kimura, M. et al. *Twenty-seven base pair deletion in erythrocyte band 3 protein gene responsible for Southeast Asian ovalocytosis is not common among Southeast Asians.* Hum. Biol. 70: 993-1000 (1998)

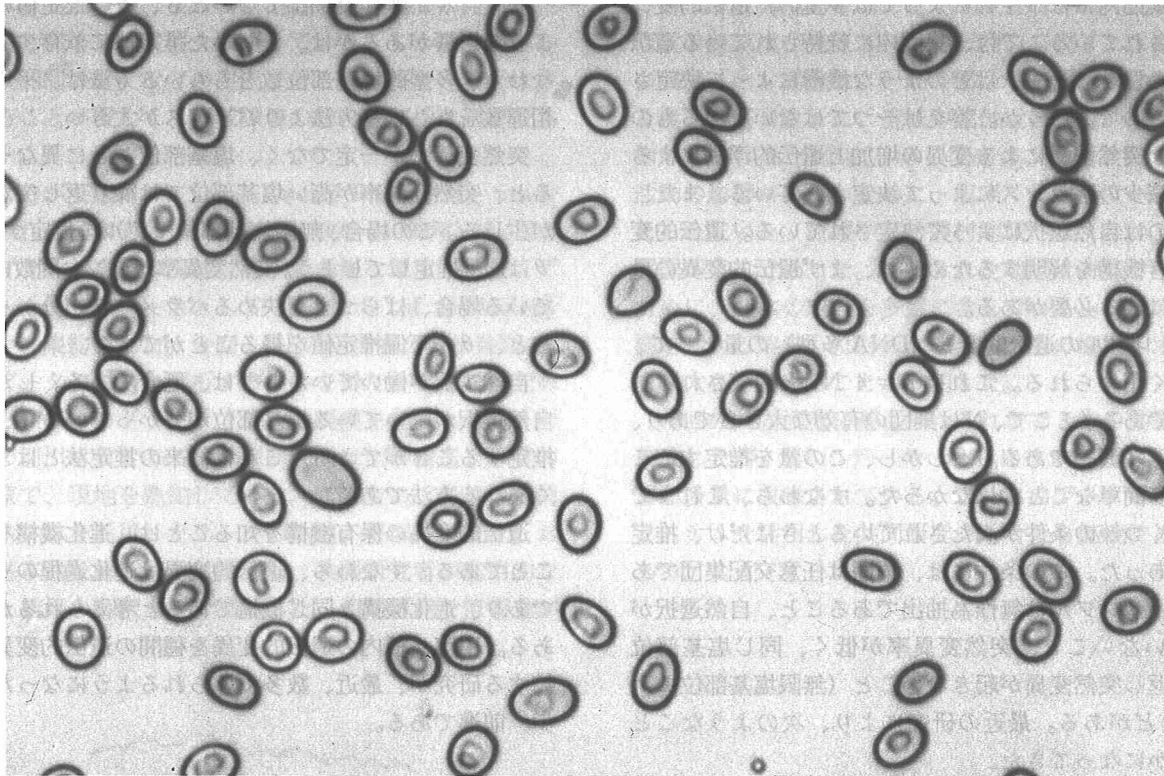


図1 東南アジア型卵形赤血球症 (Southeast Asian ovalocytosis:SAO) の血液塗沫標本像。

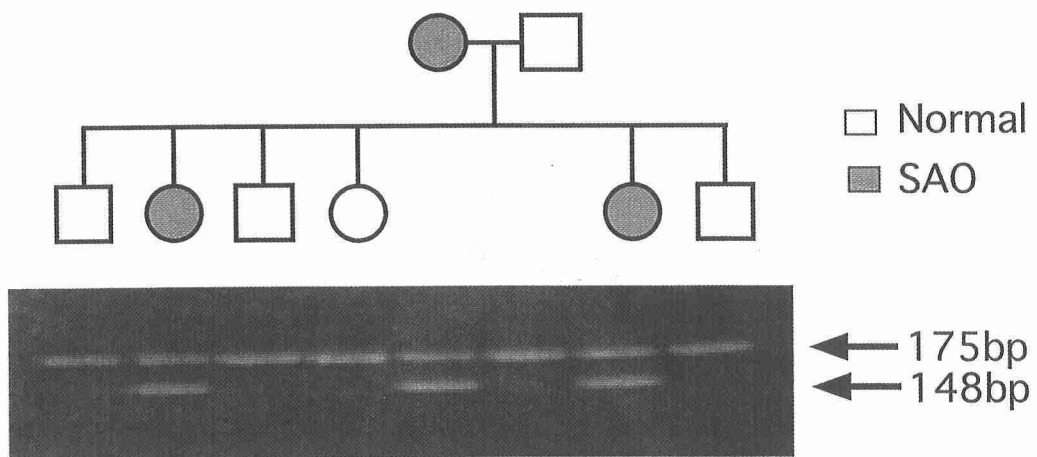


図2 SAOの原因となるバンド3タンパク質遺伝子上の27塩基対欠失 (Band3Del) をはさむ DNA 領域を、PCR 法により増幅すると、通常では一本のバンドが観察されるが、Band3Del を持つ個体は、通常のバンドに加え、それより27塩基対短いバンドが観察される。

## DNAレベルの遺伝的変異量の推定

田嶋文生 (生物科学専攻)

ftajima@biol.s.u-tokyo.ac.jp

生物集団内には(生物によっては多量の)遺伝的変異が維持されている。では、集団内に維持されている遺伝的変異の量とパターンはどのような機構によって決定されているのだろうか。答えは一つではない。あるものは中立な突然変異による変異の増加と遺伝的浮動による変異の減少のバランスによって決定されている。また、あるものは自然選択によって決定されている。遺伝的変異の保有機構を解明するためには、まず遺伝的変異の量を正確に知る必要がある。

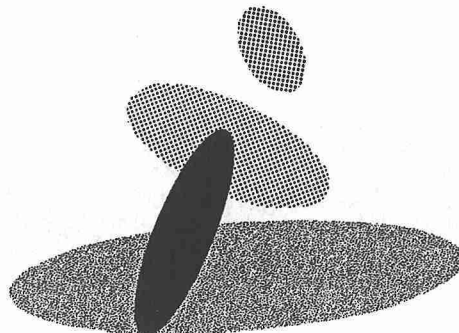
DNAレベルの遺伝的変異(DNA多型)の量として、 $\theta$ がよく用いられる。これは $\theta = 4Nv$ と定義される基本的量である(ここで、 $N$ は集団の有効な大きさであり、 $v$ は突然変異率である)。しかし、この量を推定することはそう簡単なことではなかった。すなわち、これまでには、いくつかの条件が満たされているときにだけ、推定可能であった。この条件には、集団は任意交配集団であること、サンプルは無作為抽出であること、自然選択が働いていないこと、突然変異率が低く、同じ塩基部位に繰り返し突然変異が起きないこと(無限塩基部位モデル)、などがある。最近の研究により、次のようなことが明らかになってきた。

サンプルが無作為抽出でないとき、 $\theta$ の推定値にどのような影響があるかは、もちいた推定法に依存する。すなわち、多型的塩基部位数をもちいる方法は、平均塩基相違数をもちいる方法よりバイアスが大きい。

突然変異率が一定でなく、塩基部位ごとに異なっていると、突然変異率が高い塩基部位では繰り返し突然変異が生じる。この場合、無限塩基部位モデルを仮定すると、 $\theta$ は過小推定してしまう。突然変異率がガンマ関数に従っている場合、ばらつきを決めるパラメータが分かっていると、 $\theta$ の不偏推定値を得ることができる。

自然選択が働いているときは、厄介である。しかし、自然選択が働いている塩基部位が分かっていると、 $\theta$ を推定することができる。これは従来の推定法とはまったく異なる方法である。

遺伝的変異の保有機構を知ることは、進化機構を知ることである。すなわち、遺伝的変異は進化過程の一断面であり、進化機構と同じ機構であると考えられるからである。事実、種内の遺伝的変異を種間の遺伝的変異と比較する研究が、最近、数多くみられるようになった。一步、前進である。



## 地理情報システムを用いた英国ハンバー川流域の水質分布解析

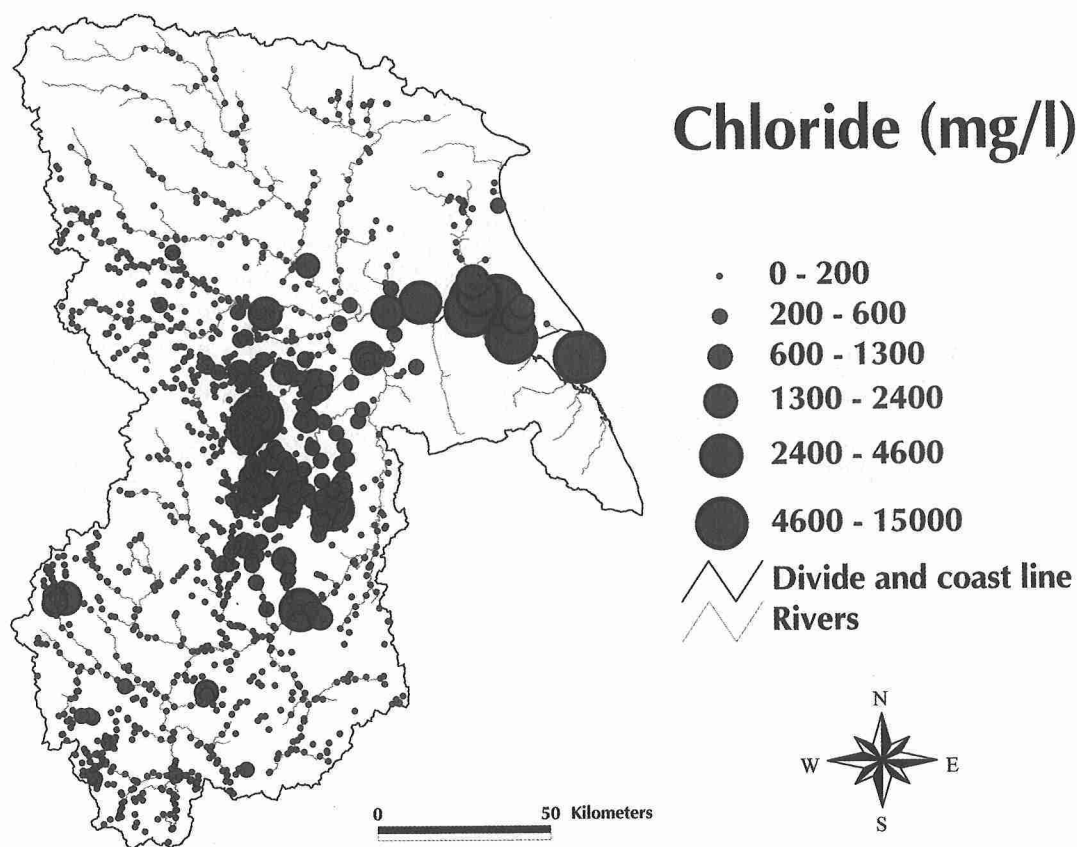
小 口 高 (地理学専攻：空間情報科学研究センター)  
oguchi@csis.u-tokyo.ac.jp

日本や英国では、複数の自治体や研究機関が河川流域の環境に関する諸情報を収集している。しかし、いわゆる「機関間の壁」などの要因により、情報を一ヶ所に集約することが難しく、流域環境の総合的解析は困難であった。

ところが英国では、Land Ocean Interaction Study と呼ばれる国家的プロジェクト (1993～1998年) により、イングランド東部の流域に関する多様な環境情報が、デジタル・データベースとして Institute of Hydrology (IH) に集約された。今回、IH の研究者 2 名と共同で、このデータベースを解析する機会を得た。主要な研究対象は、東部イングランドで最大の規模を持つハンバー川流域の河川水質である。共同研究者は土砂輸送と水質の専門家で、現地を熟知している。このため、私は地理情報システムを活用したデータの抽出、整理、可視化、および基本的な解析を主に担当し、共同研究者が応用的な解析と結果の解釈を主に担当した。利用可能な情報量が

従来よりも飛躍的に増えたために、研究の初期段階から複数の新事実が発見された。一例をあげると、河川水中の塩素イオン濃度は、一部の都市域や潮汐の効果を受ける最下流部とともに、流域中部付近の農村地域で顕著に増加している (図)。しかし従来は、農村地域では人間活動の影響が小さいために、塩素イオン濃度が低いと考えられていた。流域中部の農村地域では、かつて石炭の採掘が盛んであった。掘削された地層は海底で堆積したために、海水の成分を多量に含んでいる。この成分が採掘跡地から溶出したために、河川水中の塩素イオン濃度を増大させていることが判明した。

今回の共同研究に基づき、これまで 3 本の共著論文を作成したが、IH のデータベースには未解析のデータがまだ多量に収録されている。これらのデータと地理情報システムを活用した共同研究を、今後も継続する予定である。



ハンバー川水系における 1986-1996 年の平均塩素濃度分布図  
(Oguchi, Jarvie and Neal, *The Science of the Total Environment*, in press)

## 常緑樹の分布を決めているもの

館野正樹 (附属植物園日光分園)

stateno@hongo.ecc.u-tokyo.ac.jp

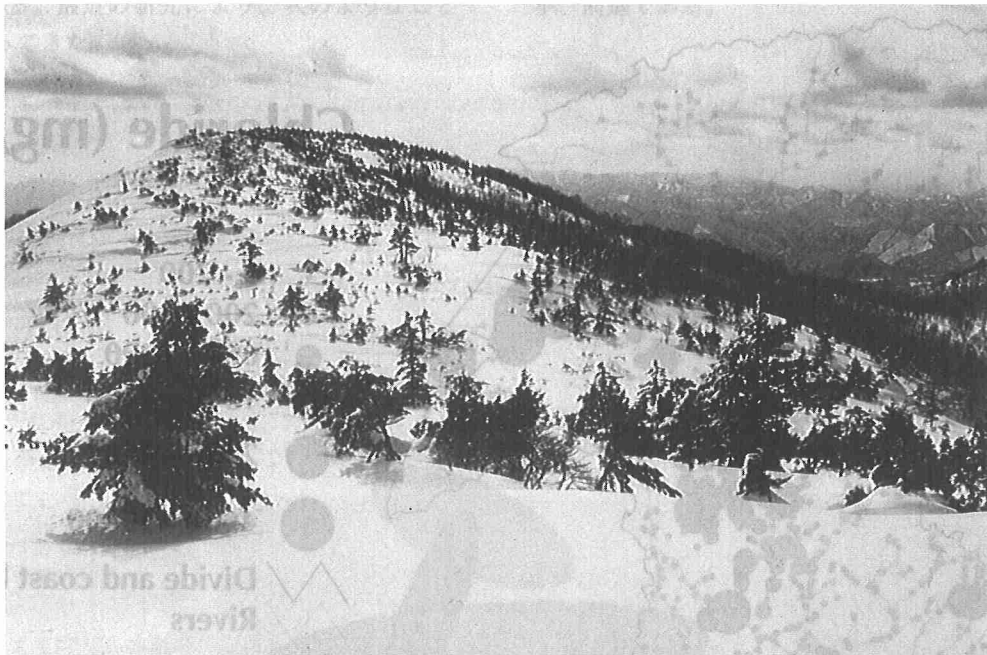
常緑樹というのは生態系を性格付ける植物で、熱帯から日光付近までは常緑広葉樹が分布し、日光以北あるいはもっと標高の高い場所では常緑針葉樹が分布しています。ちょうどその境に日光があるため、昨年日光の専任になったのを機会に、こうした常緑樹の分布を決定する要因を見つけようと思い始めています。

単純には冬の最低気温が問題ではないかと考えられるのですが、植物の耐凍性というのは結構強くて、決して氷点下にはならない沖縄の固有の植物でもマイナス5°C程度まで耐えられる植物があります。日光には分布できないシラカシの耐凍性はマイナス17°C程度で、日光の冬の最低気温より5°C近く低い気温でも細胞は死にません。

昨年冬の間にさまざまな常緑樹の特性を測定してみたところ、寒冷地に分布する常緑樹は付けている葉の量に対して比較的茎が太いことを見つけました。茎は水を葉に供給するという重要な役割を持っているのですが、実は低温に会うと水を通す道管に簡単に気泡が侵入し、

水が通らなくなります。茎が太いということは道管の数が多いということです。おそらく、太い茎ほど確率的にこのような水切れから逃れる道管の数が多くなるため、葉に水を送り続けられるのでしょう。このような水の供給の問題が常緑樹の分布域の北限あるいは上限を決定している、というのが現在の私たちの仮説になっています。常緑樹の南限あるいは下限については、寒冷地に分布する茎の太いずんぐりした常緑樹は葉が少ないために良好な環境での成長が比較的悪く、そのため茎の細い成長の速い常緑樹に競争で負けてしまうため温暖な地方には分布できない、と考えることもできます。

熱帯からタイガまで緯度に沿った常緑樹の分布は水が決定し、同じ緯度の生態系内の遷移(種間競争)については窒素競争が説明し、種内競争は光競争がその結末を予言する、というのが私たちの研究室の3つの仮説です。小さな所帯ですが、理論と実験の両面から研究を進めています。



冬の福島県七ヶ岳付近。雪の下は気温が高いのですが、雪の上ではかなり気温が下がります。こうした雪の上に葉を出している植物は、ずんぐりしていたり、水切れを起こしにくい構造を持っています。



## 桜島火山の火山ガスプリューム組成の遠隔測定

森 俊 哉 (地殻化学実験施設)

mori@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

桜島火山は、年間数十回から数百回の爆発的噴火を繰り返す火山で、噴煙を吹き上げる雄姿を見たことがある人も多いと思う。桜島では京大防災研、国土地理院、気象庁などを中心に、地球物理学的、測地学的観測網が張り巡らされている。例えば山体に埋設された傾斜計を使って、山体の膨張の変動を観測することにより、爆発的噴火を事前に察知することが可能となっている。

火山ガスを取り扱う地球化学的研究の場合、桜島での観測及び研究は困難である。なぜなら、ここでは噴気活動が山頂火口のみで発達しているため、研究対象である火山ガスを直接採集することができないからである。今日までの火山ガスの研究は、山体斜面を流れ降りてくるガスの組成を測定したり、リモコン飛行機を噴煙中に飛ばしガスを採集することで行なわれてきた。また、COSPEC (紫外線相関スペクトルメーター) を使用した遠隔測定により、二酸化硫黄放出量の変動の研究がなされている。しかし、COSPEC では噴煙の火山ガス組成を頻繁にモニタリングすることはできなかった。「これを可能にしたい。」というのが、ここに紹介する研究の基本的な目的である。

1999年3月末に、桜島火山の山頂火口から上昇する火山ガスプリューム中の化学成分の遠隔測定を目的とした観測を行なった。望遠鏡を装着した赤外分光放射計を使用し、観測点から山頂を見上げる形で火山ガスプリューム成分を測定した。観測場所は、山頂西側の京大防災研桜島火山観測所の屋上と、東側黒髪地区の砂防工事現場の2ヵ所である(山頂からの距離はそれぞれ約6kmと約4kmである)。太陽の散乱光や太陽光を赤外光源とし、火山ガスプリュームを透過してきた赤外光のスペクトルを調べると、大気中の水蒸気や二酸化炭素の吸収が見られる。それらの吸収を取り除くことにより、スペクトル中に火山ガスのSO<sub>2</sub>とHClの吸収が見つかった。その他の火山ガス成分としてはSiF<sub>4</sub>が検出している。解析の結果、HCl/SO<sub>2</sub>(モル比)にして0.1から0.2程度であった。この値は、山腹を流れ降りてくる火山ガスのHCl/SO<sub>2</sub>比の測定範囲に入っている。また、桜島火山の二酸化硫黄の放出量は、平均で2000t/dayで、非噴火時の二酸化硫黄放出量としては、世界有数である。先の比の値を用いると、HClの放出量は100t/day程度であることがわかる。

桜島のSO<sub>2</sub>放出量は1000-3000t/dayの幅で変動する。また、山腹で測定したHCl/SO<sub>2</sub>比は0.1~3.0の幅で変化することが知られている。果して、HCl/SO<sub>2</sub>比は放出量と伴にどのような挙動を示すのであろうか、また、噴火前後にこの比がどのような振舞いをするのであろうか、非常に興味深い。赤外分光法を用いた火山ガス成分の遠隔測定は、太陽の位置、風向き、天候などの制約が多いが、HCl/SO<sub>2</sub>比の変動を分単位でとらえることが可能である。桜島火山では、HCl/SO<sub>2</sub>比の長期的変動や、爆発噴火前後の短期的変動をとらえることが、今後の大きな課題であり、火山ガス化学成分の遠隔測定を通して噴火活動の解明に貢献して行きたい。



## 遠赤外線サブミリ波宇宙背景放射と銀河の形成進化

川 良 公 明 (天文学教育研究センター)

kkawara@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

約150億年前に誕生した宇宙の密度と温度は、宇宙膨張とともに下がり、やがて物質と電磁波が分離して宇宙が電磁波に対して透明になった。この時の電磁波は、3 K宇宙背景放射としてマイクロ波からサブミリ波の領域で現在観測されている。COBE(Cosmic Background Explorer) 衛星チームの努力により、3 K宇宙背景放射の中に物質密度の揺らぎの兆候が発見された。こうした揺らぎが銀河形成のきっかけを作ったはずである。「遠方の銀河を探索すると、形成中の銀河(原始銀河)が見つかる」という希望のもとに、光学領域での探索が行われ赤方偏移が5を超える銀河も見られているが、原始銀河の発見には至っていない。その理由としては、(1) 原始銀河はダストに隠されている、(2) 赤方偏移が大きくて光学領域では見えない、(3) 銀河は衝突融合を繰り返して現在のような大きな銀河に成長してきたもので、原始銀河は非常に暗い、などが考えられる。

ダストによって吸収された紫外線可視光線は、遠赤外線として放出される。また、個々の天体は暗くても、多数の天体を1つのビームに入れて(拡散光として)観測すれば、検出することができるかもしれない。こうした予測に基づき、フランスのグループはCOBEのデータを再解析し、100~1000ミクロンの領域で空が一様に光っ

ていることを発見した。「この一様放射(遠赤外線サブミリ波宇宙背景放射)は遠方の銀河から放射されている遠赤外線の重ねあわせである」との解釈に間違いはあるまい。ハッブル宇宙望遠鏡の深宇宙像と比較することで、遠赤外線として放出されているエネルギーは、紫外線可視光線として放出されているエネルギーと同程度であることがわかった。一方、現在の宇宙で放射されているエネルギーの大部分は紫外線可視光線である。つまり、過去の宇宙(遠方の天体)はダストに隠されていて光学領域の観測では見えにくくなっているようだ。原始銀河は、遠赤外線やサブミリ波領域での探索によって発見されるのかも知れない。

そこで我々は、ISO(赤外線宇宙天文台)を用いて、遠赤外線(波長 $95\mu\text{m}$ ,  $175\mu\text{m}$ )で深探索を行った。結果( $95\mu\text{m}$ の画像)を図に示す。1辺の長さは44分角である。画像には細かいブツブツが百個以上みえるが、それらのすべては銀河である。これらの遠赤外線源を光学天体と同定し、後退速度(距離)を測ることで、銀河の形成進化に関する情報や遠赤外線サブミリ波宇宙背景放射との関係が明らかになると期待しながら、観測をすすめている。

