



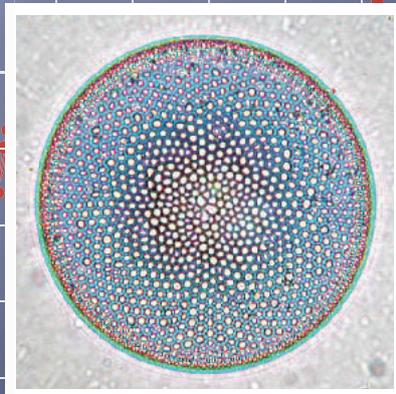
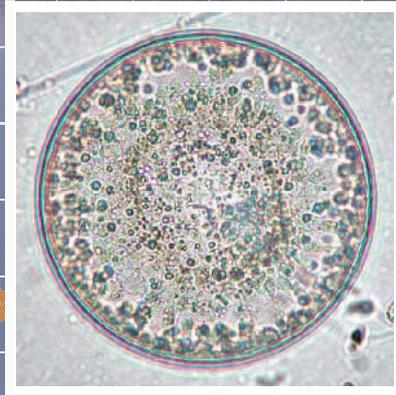
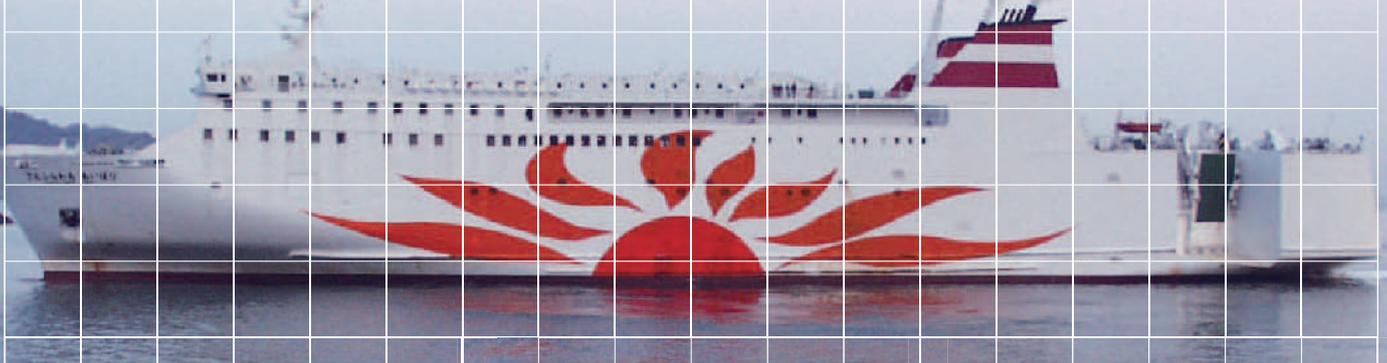
# 環境儀

No. 39

JANUARY 2011

国立環境研究所の研究情報誌

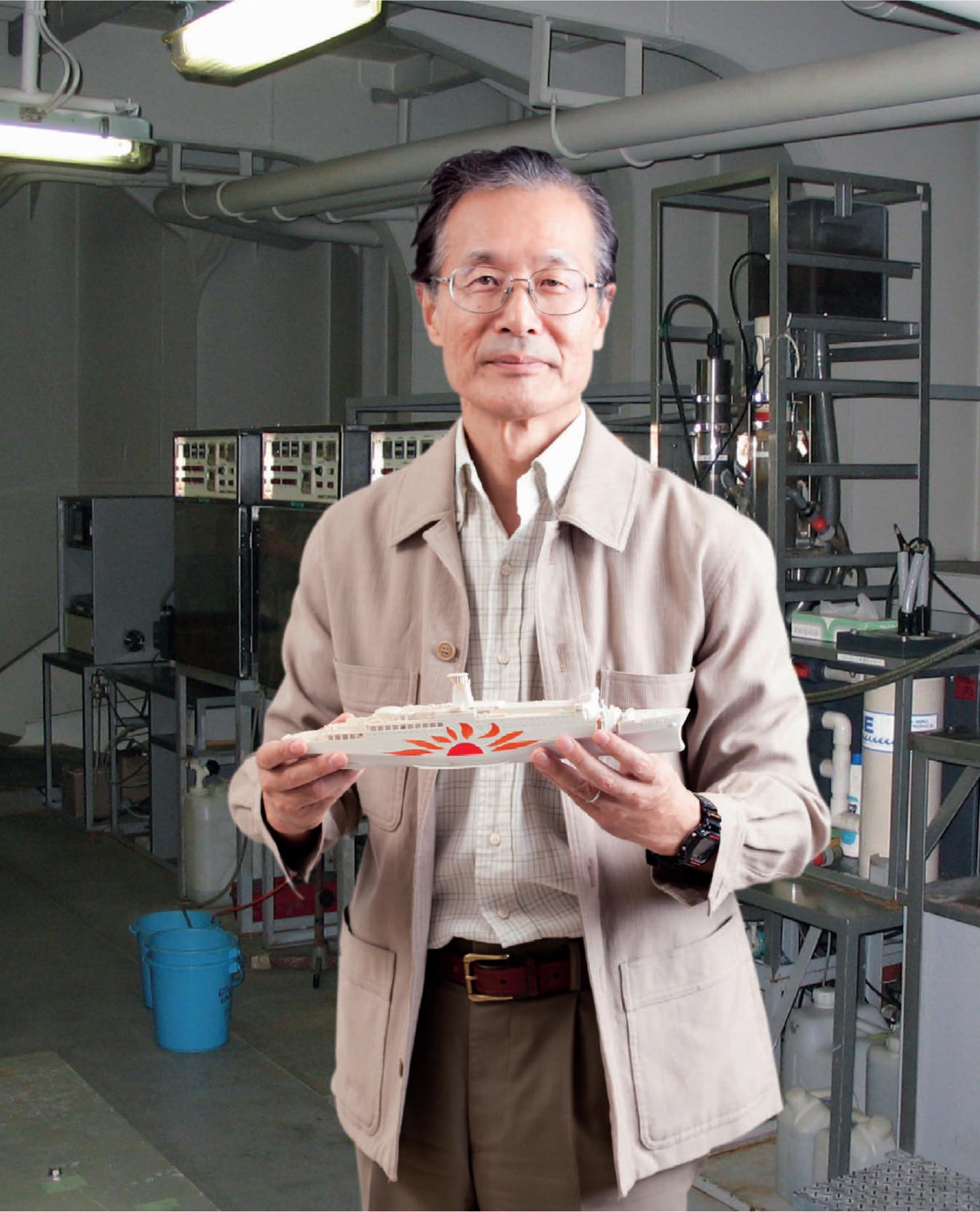
## 「シリカ欠損仮説」と海域生態系の変質 フェリーを利用してそれらの因果関係を探る



独立行政法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/>





ケイ素の循環は地球環境にとって重要な役割を担っています。  
 フェリー観測によって窒素、ケイ素等の栄養塩とケイ藻の動態を探り、  
 赤潮発生などの海域生態系変質との関連を探ります。

地球環境の変動として、CO<sub>2</sub>増加などの問題が注目されていますが、ケイ素からなるシリカ（ケイ酸）が減りつつあることが生態系に及ぼす影響も指摘され始めました。すなわち、人為的な影響で窒素とリンの負荷が増加するの対し、ケイ素の流下は大ダムの増加等で世界的に減る傾向にあります。このため、沿岸海域で、ケイ素を必要とするケイ藻よりも、ケイ素を必要とせず、しかも有害赤潮を引き起こす非ケイ藻類植物プランクトンのほうが有利になることが懸念されます（シリカ欠損仮説）。さらに、海洋生態系の基盤であるケイ藻が非ケイ藻類に遷移すると、クラゲなど生態系の上位生物組成への波及も考えられます。この仮説を検証するためには、海洋の栄養塩や植物プランクトンの分布と長期傾向を観測することが必要です。この仕事は大気観測などよりも技術的に難しい要素がありますが、国立環境研究所ではフェリー会社の協力によってこの問題を克服し、研究を継続しました。その結果、この仮説が琵琶湖-瀬戸内海の水系に概ね適用可能なることがわかりました。この水系では社会経済的状況の変化によってむしろシリカ欠損からの回復傾向がみられますが、東アジア地域のように経済活動やダム建設が増大途上の地域では、今後なんらかの対策が必要になるだろうと考えられます。

今回は、「シリカ欠損仮説」を検証するために行った研究について、フェリーを利用した長期高頻度の海洋モニタリングを中心に紹介します。

## C O N T E N T S

### 「シリカ欠損仮説」と海域生態系の変質 フェリーを利用してそれらの因果関係を探る

- Interview

研究者に聞く!! ..... p 4 ~ 9

- Summary

流域からの栄養塩の流入変動と海域生態系変質に関する研究 ..... p10 ~ 11

- 研究をめぐって

シリカ欠損の研究とフェリー観測  
 〈世界と日本の取り組み〉 ..... p12 ~ 13

環境儀 No.39 に関わる研究のあゆみ

..... p14

- 表紙

背景：フェリー「さんふらわああいぼり」による海洋観測（上）と播磨灘部分の栄養塩時系列データ（下）、小写真：採取されたケイ藻類の顕微鏡写真

- 左ページの背景：フェリーに設置された観測システム：左から順に、3台の自動過サンプリング装置、水温・塩分・クロロフィルなどのセンサー機器、手動サンプリング用の海水蛇口・流し

# Interview 研究者に聞く!!

東アジア域を中心とした経済発展に伴って、陸から海へのリン、窒素の流入や大ダム建設が増加し、一方で、有害赤潮の増加やクラゲ発生の増大などの海洋生態系変質も報告されています。「シリカ欠損」をキーワードに研究に携わっている原島省海洋環境研究室長にお話をうかがいました。



原島 省 / 水圏環境研究領域 海洋環境研究室長

## 意外に知られていない 環境でのケイ素循環の重要性

1: 「増加」のかわりに「減少」が問題となる物質もある

**Q:** はじめに、「シリカ欠損仮説」とはどういったものなのでしょう。

**原島:** 環境問題の多くは、CO<sub>2</sub>のように増大してゆくことが問題なのですが、逆に、自然界にふんだんにあるはずのシリカ(図1、化学式はSiO<sub>2</sub>)が減少し、ケイ藻が基盤となっている水圏生態系を変質するかもしれないという仮説のことです。

人口と消費の増大は農業肥料や都市排水を増加させ、この結果、窒素(N)やリン(P)など栄養塩の水圏への流入を増大させます。いわゆる富栄養化ですね。これに対し、ケイ素(Si)は鉱物の風化作用で水圏に溶け出してくるので補給量に上限があります。大ダム湖が増加するとSiがそこで沈降してしまい、海への流入分が減るため、沿岸海域でNとPに対するSiの相対比

が下がると考えられます(図2)。

海洋の基礎生産(光合成)の大半は、植物プランクトンのうちのケイ藻によって行われていますが、彼らは殻材としてSiを必要とします。この殻はガラス質のカプセルで、表紙の顕微鏡写真のようにたいへん精緻で美しいものですが、それ以上にケイ藻が善玉プランクトンとして生態系の基盤を形成するのに役立っています。

これに対し、Siを必要としない植物プランクトンの中には、有害赤潮を形成する渦鞭毛藻などの悪玉プランクトンが含まれます。Siが減ることは、善玉を減退させ、その分悪玉を助長する可能性があります。

**Q:** では、研究の目的はどこにあるのでしょうか。

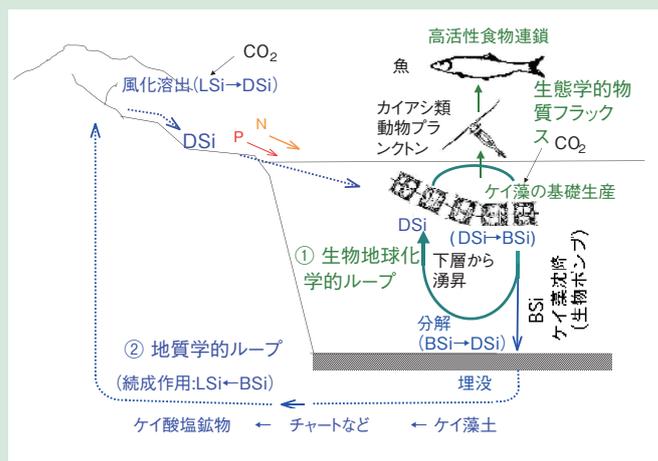
**原島:** 生態系の仕組みは複雑なので、このような考えも簡単には立証できないのですが、まず観測で検証することと、そしてもしそれが意味をもつと判断できれば、それに基づいた環境保全策を考えることです。

### シリカとケイ素循環

シリカはケイ素(Si)の化合物でケイ酸と同義に使われ、基本的には分子式SiO<sub>2</sub>で表される物質の総称です。鉱物態シリカ(略号はLSi)に水が触れた時の風化作用で溶出してくるのが溶存態シリカ(DSi)で、化学式はSi(OH)<sub>4</sub>です。ケイ藻やイネがDSiを吸収して細胞殻やもみ殻などにしたものは生物起源シリカ(略号:BSi)やプラントオパールなどとよばれます。

ケイ素の循環は、①「生物地球化学的循環」と②「地質学的循環」からなり、一部は重なっています。①はケイ藻の基礎生産にともなって海洋上層でDSiが吸収されてBSiとなり、それが下層に沈降する途中で分解して海水の湧昇で再び海洋上層に戻ってくる循環です。また②は①でできたBSiの一部が海底に埋没し、ケイ藻土・チャートなどを経由して(続性作用)LSiにもどる循環を指します。シリカ濃度の表し

方には重量系とモル系があり、前者での6mg/Lが後者での100μmol/Lに相当します。



■図1 「シリカとケイ素循環」模式図



## 2: 1970年代の米科学誌地球環境特集号 もきっかけとなる

Q: 先生のご研究歴をお聞かせください。

原島: 私は京都大学大学院で地球物理学を専攻、海洋物理学の勉強をしておりました。1980年に当研究所に入り、当初は流体物理的な面から環境問題を研究していました。

Q: それは赤潮に関連しているのですか。

原島: はい。例えば、渦鞭毛藻は自力で泳ぐので、海水の密度成層があってもそれを越えてゆけるのに対し、ケイ藻は自力遊泳しないため、成層が弱くてある程度の乱流で巻き上げられるほうが有利になるといったことです。

Q: ダムとの関連についてはいかがでしょう。

原島: 大船渡湾の津波防波堤の環境影響について、数値シミュレーションを行っておりました。内湾では潮汐流だけでなく、密度流という鉛直循環も海水交流に効いているのですが、津波防波堤が海中のダムとなってしまうため、夏季に成層ができると下層に貧酸素水塊が停滞してしまうのです。

Q: そのような背景からシリカ欠損の研究に進まれたのには、どうしてでしょうか。

原島: 1980年代後半にCO<sub>2</sub>増加などの地球環境問題が注目され、関連の研究予算に応募できたことが大きかったですね。

Q: 研究面でのきっかけについてはいかがでしょうか。

原島: もともと地球環境システム全体に関心があったのですが、たまたま、目にしたサイエンティフィック・アメリカン誌が1970年に組んだ特集号の邦訳『生態系としての地球-バイオスフィア』（共立出版）の

Q: この仮説はどのように形成されてきたのですか。

原島: Siの環境上での重要性が指摘され始めたのは1980年代頃でしょうか(12ページ参照)。その後、陸から海への流下量の減少が1990年頃に着目され始めました。1997年にスウェーデンの研究者が、ドナウ川のダム築造が黒海上層のシリカ低下と有害赤潮の増加に関連しているという論文を発表し、インパクトを与えました。

Q: 先生ご自身は、こういった流れをどのように受け止めておられましたか。

原島: 1980年代頃から注目し、これをひとつのきっかけとして海洋観測を始めたのが後述のように1991年からです。1997年にこの結果を、ドイツの出版社の書籍に寄稿したのが最初の発表です。

ちなみに、「シリカ欠損」というのは当方の造語で(図2)「欠損」の語を加えることで、単なる自然現象だけでなく環境問題としての意識を含めたものです。ケイ藻の増殖上にSi「欠乏」が起こるのはかなり濃度が低い場合ですが、非ケイ藻類との競合の点では、この「通常のDSi濃度を顕著に下回る」という定義がよいと思います。

## シリカ欠損仮説

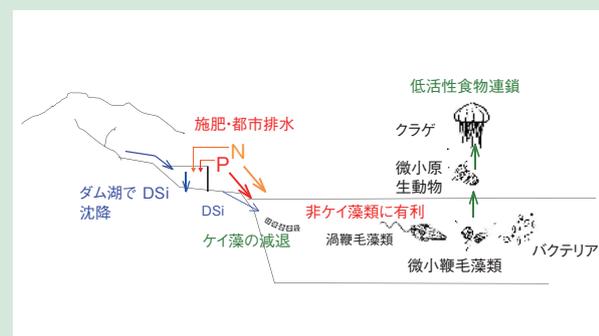
人間活動はN、Pの流下を増大させる一方、大ダム等でSiの流下を減少させます。結果として、沿岸海域でSiを殻材として必要とするケイ藻よりも、非ケイ藻類植物プランクトンが有利になる可能性があります。

ケイ藻は窒素栄養塩(略号はDIN)、リン栄養塩(同DIP)、ケイ素栄養塩(同DSi)を概ね16:1:16の割合(レッドフィールド比)で吸収します。このため、海水のDSi/DIN比が1を下回るかどうかケイ藻が不利になる一応の目安になります。本誌では、「シリカ現存濃度が通常あるべき値を顕著に下回る状態を「シリカ欠損」と定義します。以降の図では、この比と照合するため、DIPには16を掛けた形で示します。

さらに、生態系における高次生物への影響に関して、シリカが潤沢であるとケイ藻→カイアシ類動物プランクトン→魚という「高活性食物連鎖」が主流であるのに対し(図1)、シリカ

が欠乏すると非ケイ藻類→微小原生動物→クラゲという「低活性食物連鎖」が強まるという説があります。

なお、大ダムとは、一般的には堤高が15m以上のダムを指しますが、ここではむしろ平均滞留時間(容積/流量)が重要で、それが1~3ヶ月程度を越えるかがひとつの目安となります。



■図2 「シリカ欠損仮説」模式図

存在が大きかったのです。炭素(C)、N、Pなどは生命活動を支えていることから「親生物元素」と呼ばれますが、それらの循環が人為影響で乱されていることや、どんな対策が必要かが描かれていました。例えば、「炭素のサイクル」の章は、後にIPCCの初代議長をつとめることになるポーリン博士が執筆していたのですが、キーリング博士らによる10年そこそこのCO<sub>2</sub>時系列データから、すでに地球温暖化が予測されていたのです。「窒素のサイクル」の章では、ハーバー・ボッシュ法による窒素固定量が自然の生物的固定量を超えつつあり、「窒素過剰」が問題になるという予測、Pについては、本来不足しがちな元素でありながら、環境管理が十分でないためにむざむざ有害藻類を徒長させているとの指摘が印象的でした。

**Q**：当時の日本と欧米の格差についての印象、もう少し具体的におうかがいしたいのですが。

**原島**：このような科学的知見、環境・資源問題を一体化した指摘を参考にしたのか、後にアメリカと中国は肥料確保のため、リン資源の禁輸政策に踏み切りました。我国も最近ではレアアース問題等でこのような議論が盛んになりましたが、当時の彼我の認識の差には愕然とした次第です。

**Q**：本題のケイ素についてはどうでしたか。

**原島**：この本は、Siの循環についてはふれていなかったのです。そこでこのあたりを突破口にすれば、なんとか欧米の研究に対する競争力を確保できるのではと考えたわけです。

**Q**：ある意味、主役を避けたということですか？

**原島**：いえ、そうでもないんです。実は各親生物元素は、ばらばらでなく互いに連動して循環しているのでどれが主役ということはありません。例えばケイ藻



写真3 船底の取水管から計測用海水を分岐します。

であれば、図2に示すような比率で各元素を取り込みます。この比に照らして不足する元素が「制限要因」として、生物活動を支配することになります。本来制限要因だったNあるいはPが増えれば、Siが制限要因になる状態もありえます。研究としての主戦場は、むしろ制限要因になるC以外の元素にあるといっよいでしょう。

**Q**：地球温暖化問題ではCの循環が議論されていますが、Siにもそうした大規模な循環があるのでしょうか。

**原島**：はい、図1に示すように、海産ケイ藻の基礎生産にかかわる循環と、海洋・地殻にまたがった循環の2つがあり、それらの一部が重なり合っています。

このSiの循環はCの循環にも深く関わっています。前者の循環についていえば、地球上のCO<sub>2</sub>固定の約1/4はケイ藻が担っており、彼らが下層に沈降することで有機物として固定したCを海洋下層に引き込んでいます。この時Siの殻がバラスト(重し)の役割を果たします。沈みにくい植物プランクトンであれば、上層にとどまっているうちに、せっかく固定した有機物が分解して大気に戻ってしまいますね。ま



■図3 モデル水系としての琵琶湖-淀川-瀬戸内海  
陸水域では琵琶湖を仮想ダム湖とし、流入河川(野洲川)、流出河川(瀬田川-淀川)の栄養塩を計測します。海域では、別府-大阪航路(赤点線)のフェリーさんふらわあの協力により、長期、高頻度で海水水質を計測します。数字は各灘の番号、6が播磨灘、7が大阪湾です。瀬戸内海では1970年代の有害赤潮全盛時代と比べるとリン・窒素の流入は低下傾向にあるため、本研究では、シリカ欠損状態からの回復がみられるかを検証することが目標となります。



写真1 琵琶湖下流の天ヶ瀬ダム直下での採水調査



写真2 淀川河口(毛馬開門付近)で河川での採水調査



写真4 海水に溶けているCO<sub>2</sub>濃度の計測(海洋化学研究所との共同研究)。通常は無人観測ですが、乗船しての調査・実験も行われました。



関連があるのでしょうか。

**原島**：ケイ藻もシリカの殻を捕食への防御手段としているのでしょうか。もっとも捕食者たるカイアシ類動物プランクトンの方も口器を発達させてこの殻を破砕できるようになったようです。これが共進化です。ケイ藻は比較的新参者で、現れたのは中生代なのですが、このようなシリカの効果があつてか、またたく間に海洋で卓越するようになりました。

た、ケイ藻自身も沈降することを生存戦略にしているようです。上層で栄養塩が枯渇した時には沈降してしまつた方が有利になりますから。

後者の循環では、海底に埋まったケイ藻の殻が続成作用で鉱物態となり、一部は造山運動で陸上に露出します(図1)。それが降雨で風化される時、大気のコ<sub>2</sub>が水に吸収されます。すなわち、Siがからんで無機的にCO<sub>2</sub>固定が行われるといえましょう。

**Q**：Siは地殻中にふんだんにあるようですが、生物にとって不足することがあるのでしょうか？

**原島**：たしかに、Siの存在量は地殻重量の28%にも達するのですが、鉱物態シリカ(LSi)からの溶解度は高くないのです。ケイ藻にはなじみがないかもしれませんが、陸の植物の中ではSiを多く含むイネの例をみてみましょう。伝統的な稲作では、ワラを土にすき込んだり、田で燃やしていたのですが、これは経験上、Siを田に戻すことがイネの病虫害への抵抗力を強めるなどの効用が知られていたのでしょうか。現代でもSi肥料(ケイ酸カルシウム)が使われています。

**Q**：イネと、水産の基礎となっているケイ藻は、ともに食料生産の基盤となっていますが、シリカと何か

### 3：フェリーなど定期航路船舶の協力で長期、継続的なデータを収集

**Q**：観測を始められた経緯についてお聞きしたいと思います。

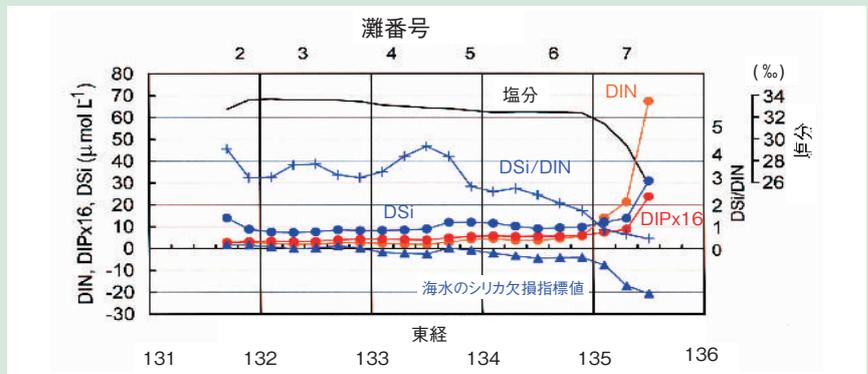
**原島**：「生態系としての地球」では、ハワイ・マウナロアの大気CO<sub>2</sub>モニタリングが印象的でした。そのひそみにならって、栄養塩や植物プランクトンを対象にした海洋モニタリングを行いつつ、海洋生態系変質の長期的評価を行うことを構想したのです。

**Q**：研究の対象水域は？

**原島**：シリカ欠損が最も問題になるのは、経済発展と大ダム建設ともに盛んな東アジア各国の水域なのですが、その排他的経済水域(EEZ)の調査は困難です。そこで、琵琶湖を仮想大ダム湖と想定し、淀川・瀬戸内海とセットにして1つのモデル水域と考えました(図3、写真1、2)。このような対象設定は地域的な問題に見えるのですが、現在、普遍的かつ地球規模の問題として、同様の取り組みが国外でも行われています。また、開放的な海域では人為影響が顕在化しにくいし、逆に、これより小さな海域でも海水交換が早すぎて長期的変化がみえません。長期的なフェリー計測結果を時間平均してわかつたことですが(図4)、瀬戸



写真5 自動ろ過サンプリング装置の内部。航走しながら海水を採取して冷蔵保存し、翌朝、ろ紙(青色部分にセット)とろ過海水(サンプル瓶)を回収して、それぞれ植物プランクトン色素(クロロフィルなど)とN、P、Si各栄養塩を分析します。



■図4 瀬戸内海の各場所のN、P、Si各栄養塩分析値の長期平均。DIN(●)、DIP×16(●)ともに東高西低で、大阪湾側で人為影響が強いことが現れています。DSi(●)も東高西低ですが、河川含有DSiが保存されると仮定して塩分観測値(黒線)から推定した値はもっと東高西低であるはずですが。その差を「海水のシリカ欠損指標」と定義すると(▲)、大阪湾でマイナス値となり、シリカ欠損が顕著なことがわかります。DSi/DIN 相対比(+)も同様に東側で1以下というように低くなっています。(文献<sup>1)</sup>のFig. 4に加筆修正 © The Royal Swedish Academy of Sciences)。

内海は水路状な海域のため、各栄養塩分布が東高西低であるという「環境勾配」が見えやすく、この点も、人為影響の程度を判断するのに適しています。

**Q**：苦労されたのはどんな点でしょうか。

**原島**：検証といっても、シリカ濃度と赤潮を何回か観測して済むというものではありません。海域では、様々な変動が大きいので、測定間隔が短く、しかも10年以上のデータから、長期的な環境変質を抽出しなくてはなりません。大気であれば、例えばハワイ・マウナロアの観測所のCO<sub>2</sub>データで同じ緯度帯を代表させることができますが、海水は混じりにくいので、空間的な差異も大きいのです。そもそも、海中に観測所を建てるわけにはいきませんね。また、観測専用船を10年もチャーターしたら経費が莫大になってしまいます。

**Q**：この問題をどうクリアしたのですか。

**原島**：大学院の先輩がフェリー会社に頼んで海水温を観測していたことがヒントになりました。実は、商船で気象データなどを取ることはよく行われ、篤志観測船(VOS)という言葉も定着しています。ただし、フェリーの利点は、同じ航路を高頻度で反復観測できることです。そうでないと、時系列解析ができません。また、海水中の生物量・化学量のサンプリングや計測は、大気計測に比べると格段に手がかかるのですが、試行錯誤の結果、栄養塩類は自動ろ過サンプリング装置から陸上分析(写真5)、水温、塩分、クロロフィル濃度等は自動センサー計測、その他の量は乗船して有人調査(写真3、4)という方式に落ち着きました。

韓国の釜山と神戸間を往復するフェリーで、1991年から計測を始めました(図10)。その後、このフェリーの廃止のため、1994年から瀬戸内海航路に移し2009年3月まで継続しました。この間、取り込んでいる計測用海水の深度代表性の実験(写真6)や、デー



写真7 船上の顕微鏡(a)で得たプランクトン画像(b)を、衛星電話回線(c)で陸上局にオンライン転送する実験(電総研との共同研究)。

タのオンライン転送の実験(写真7)を行ったほか、アジアの縁辺海域を航行するコンテナ船にも観測を依頼しました。

**Q**：ユニークな試みですね。評判はいかがでしたか。

**原島**：国外も含めて反響があり、何度かその研究会合に招かれました(写真8)。その後2000年になってからEU各国の共同で同様の観測(欧州フェリーボックス計画、図9)が始まりました。この計画の紹介記事が2008年のサイエンス誌に載り、日本や韓国のフェリー観測も併記されています。

#### 4: 仮説検証の達成度は？

**Q**：研究の成果についてふれていただけますか。

**原島**：後述のSummaryを手短かにすると以下のようになります。実は、個々の海水サンプルについては、Si/N相対比とケイ藻/非ケイ藻比の間には明確な関係は見えませんが、スナップショット的な観測でも把握できません。毎年の季節サイクルを長期に追って見えてきたのは、N、Si栄養塩ともに冬季に高いのですが、早春にかけてケイ藻の大増殖で吸収されて減ってゆくこと、また春の時点でNとSiのどちらが残るかを解析すると、1990年代にはN残留(Si枯渇)だったのが

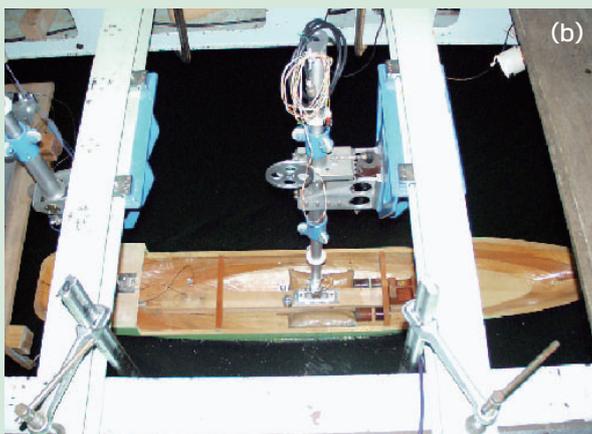
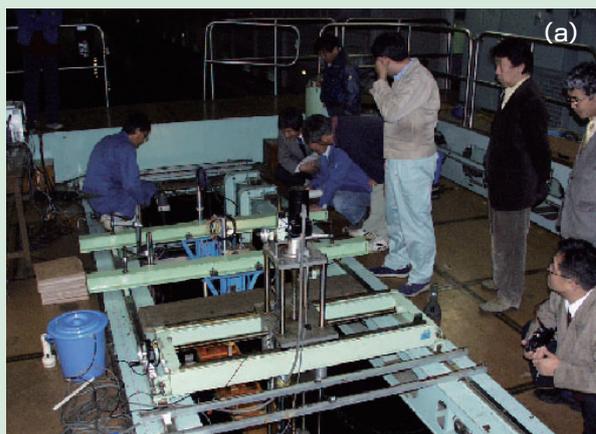


写真6 大型実験水路(a)と模型船(b)を使い、取水した海水がどの深度を代表しているかを推定します(船舶技術研究所との共同研究)。



写真8 PICES(北太平洋海洋科学機構)主催のVOS(篤志観測船)に関する研究会合(2002年シドニーにて、下列右端が原島室長、上列右端は欧州フェリーボックス計画の代表で英国立海洋科学センターのD.ハイド博士)



2000年代になるとSi残留(N枯渇)に転じたことで、この結果は、1970年代から渦鞭毛藻による有害赤潮が減少しつつあることと符合します。シリカ欠損の進行でなく回復についての事例ですが、ケイ素循環も重要であることが確認できたことです。

**Q**：このことは陸からの栄養塩流入量の変化と関係しますか。

**原島**：瀬戸内海では、行政面の流入規制等でNとPが減りつつあります。また、農業や海面漁業の形態が長期変化したこともあるでしょう。シリカ欠損からの回復傾向はこのようなN、Pの流入低下傾向とも符合します。

**Q**：有害赤潮発生件数の変化はN、P流入の変化だけでは説明できませんか？

**原島**：近年、例えば播磨灘ではケイ藻が隆盛になり、栄養塩を奪うことで養殖ノリの色落ちの一因といわれるまでになりました(ケイ藻も有害赤潮ということになって、ちょっとややこしいんですが)。ここで、ケイ藻もN、Pに依存しているので、それらの流入減少だけを考えるとケイ藻赤潮も減少するはずですね。そうでないところをみると、他の要因も考慮する必要があり、当然Siの回復もその1つと考えられます。

**Q**：クラゲ増加にシリカ欠損も関わっていると考えるのもよいのでしょうか。

**原島**：クラゲの増加には様々な説があり、最近の外国の研究者による総説はシリカ減少説も含めています(11ページ)。シリカ欠損の影響として2つのシナリオが考えられます。1つは図2に示すように、シリカ減少によって栄養物質の流れが「高活性食物連鎖」から「低活性食物連鎖」にシフトするという考え方です。もう1つの私自身の考えは、「拡大シリカ欠損仮説」とでも申しましょうか？ より一般性を込めたものです。ケイ藻が卓越しているうちは上層の栄養物質を効率よく下層に引き落としているが、非ケイ藻類はその機能が弱いため、上層に栄養物質が滞留しやすくなり、最終的にクラゲの食物増加につながるという考えで

す。ただし、両シナリオともに、他の要因と共存しているため、シリカ欠損だけ抜き出して実証することがむずかしい。また、これらの仮説からするとシリカ欠損から回復しつつある瀬戸内海ではクラゲが減っていることとなりますが、データでの裏づけができません。

**Q**：シリカ欠損仮説は概ね実証されたと考えてもよろしいですか。

**原島**：検証作業の半ばは越えたと思いますが、さらにチェックすべきことも多く残っているので、6割方といったところでしょうか。現在でもやはり「仮説」の語を残しておきたいと思います。

**Q**：この仮説が成り立つと考えた場合、どんな対策が必要とお考えですか。

**原島**：有害赤潮の発生現場にシリカをまくというような対処療法よりも、季節を通じてSiが枯渇しないような長期・広域的な対策が必要になるでしょう。すなわち、冬季のSi/N栄養塩比をチェックして、もしSi相対比が十分高くなければ、さらにN、P流入を減らし、Siを回復させることが必要になると思います。Si流下については、一般的にダム湖下層の水ではシリカが豊富なので、下層放流などの手段も考えられますが、下層が低水温や貧酸素になっている可能性もあるので、それに応じたダム管理手法を専門機関で確立することも必要になるでしょう。

**Q**：こうしてみるとシリカは一種の環境資源ともみなせますね。

**原島**：実は我が国のダムは概ね小規模で水の滞留時間が短いため、シリカ欠損に関しては大きな心配はないといってよいかもしれません。焦点はやはり、中国などの大ダムにあります。また、日本は火山と多雨のために面積あたりのシリカ溶出率が高く、環境資源の観点からは1つの恵みといえます。中国が「シリカ没する国」であるとすれば日本は「シリカ出する国」といえるでしょう。反面、我が国ではN、P流入が減ったとはいえ、それは流入負荷削減だけではなく、肥料の使用があまり増えていないことも一因らしいのです。つまり、バーチャルウォーター問題と同様に、海外で肥料を使ってできた農産物の輸入にも助けられているのですね。…責任を持ち続けるべきでしょう。

**Q**：ありがとうございました。

#### 脚注

1) Harashima, A. et al.(2006)Verification of the silicadeficiency hypothesis based on biogeochemical trends in the aquatic continuum of Lake Biwa-Yodo River-Seto Inland Sea, Japan, *Ambio* 35, 36-42.

## 流域からの栄養塩の流入変動

東アジアを中心として、流域での施肥・消費の増加とダム建設・流路改変の複合作用が窒素、リン、ケイ素の流下に影響しさらに海域生態系を変質させることが懸念されます(シリカ欠損仮説)。国立環境研究所では、この仮説の検証をキーワードとし、モデル水系として琵琶湖-淀川-瀬戸内海を選び、主に地球環境総合推進費による研究を行ってきました(14ページ)。ここではその主要部分のあらましをご紹介します。

### ●陸の静水域では

琵琶湖を仮想ダム湖と想定して、流入河川(野洲川など)、流出河川(瀬田川など)で計測を行った結果、流入する溶存ケイ酸(DSi)の7-8割が琵琶湖でトラップされることが確認できました。一方、信州大学による信濃川水系の犀川ダムでは、DSiの減損は低流量期をのぞいて顕著でなかったことから、シリカ欠損は静水域の平均滞留時間(容積/流量)が比較的長い場合に顕著になることが確認できました。

### ●瀬戸内海、特に播磨灘では

瀬戸内海域について、フェリーの連続取水系を利用して各栄養塩などを長期・高頻度で観測しました。経度区画ごとに長期平均をとると(図4)、各栄養塩ともに「東高西低」で、N、P流入などの人為影響が阪神地域側で強いことがわかります。「海域のシリカ欠損指標」を、DSi流入河川水のDSi保存性を仮定した場合のあり得べき値とDSi観測値との差で定義すると、これが「西高東低」となり、海域へのN、P流

入もシリカ欠損につながる事がみてとれます。

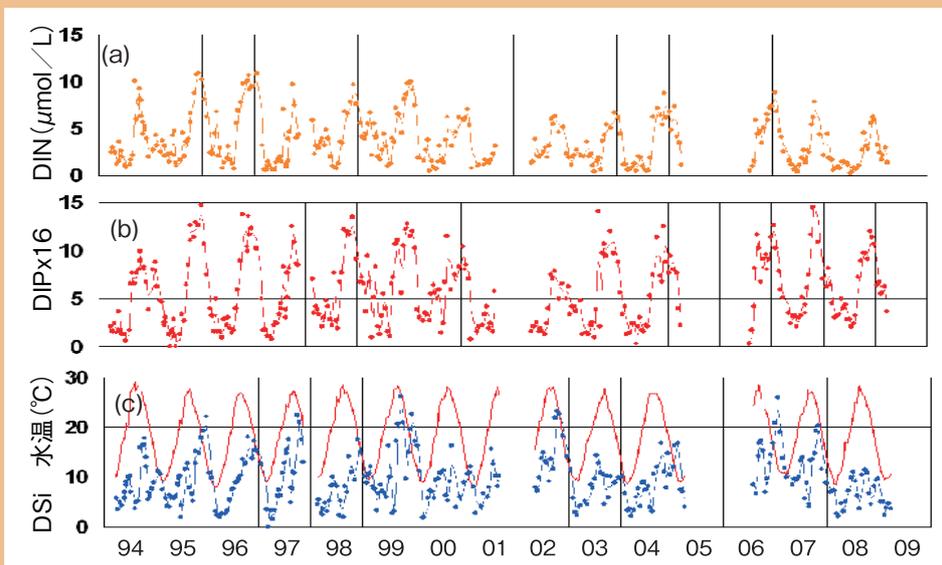
全データのうち、播磨灘中央部の各栄養塩データの時系列的变化をみると(図5)、各栄養塩ともに、冬季に高くその後早春にかけて減ってゆくことがわかります。見やすくするため、DIN、DSiをそれぞれ横軸、縦軸として1年間の季節変化の軌跡を示したのが図6です。ここで定義した「DSi切片」がマイナスであれば春季ブルーム終了時にDSiが枯渇してDINが残ることになり、ケイ藻が不利になると推定されます。

### ●DIN、DSi 年平均值と「DSi 切片」の長期変化

DINとDSiの各年の年間平均値を時系列表示すると(図7)、DINが長期的に減少してきたことがわかります。DSi年平均值は振れが大きいですが漸増といえるでしょう。ただし、両データをみるとDSiのほうがDINより明らかに高く、一見シリカ欠損が起こりそうにありません。ところが、前述のDSi切片は増加傾向、すなわち1990年代ではマイナスだったのが2000年代からプラスに転じたことがみてとれます。すなわち、春季ブルーム終了時にDSiが枯渇する傾向があったが、現今ではDINが枯渇するようになったことが推定されます。鍵は春季大増殖期間の両栄養塩の減率比 $\Delta \text{DSi} / \Delta \text{DIN}$ (図6中の破線の傾き)が1.5 ~ 2であり、レッドフィールド比の定説値(N:P≒1)より大幅に大きかったことにあります。

### ●有害赤潮との因果関係は？

水産庁の「瀬戸内海の赤潮」によれば、1970年代



■図5 播磨灘中央部における各栄養塩および水温の長期変化

「フェリーさんふらわあ」による観測は、途中の中断もありましたが、1994年4月～2009年3月の15年間継続されました。左の図は全海域のデータうち、播磨灘中央部分の(a)DIN、(b)DIP×16、(c)DSiを抜き出してグラフにしたもので、各栄養塩グラフの曲線は移動平均による平滑値を示します。これによれば、各栄養塩とも冬に高く、春～夏に低いという季節変化を示しますが、DINとDIPが秋になって増加するのに対し、DSiだけは夏のうちに増加するという違いがみられます(詳細は図6参照)。



# と海域生態系変質に関する研究

に顕著だった渦鞭毛藻赤潮の発生が長期的に減少傾向にあります。一方、近年はケイ藻赤潮が盛んになり、養殖ノリの色落ちの原因ではとの推測もあります。また、行政施策もあってNとPの流入は減りつつあります。このような長期的な事象の符合から、進行基調でなく回復基調についてですが、「シリカ欠損仮説」は概ね検証されたといえるでしょう。ただし、以下のように、一見この仮説と矛盾するようなポイントもみられました。「瀬戸内海の赤潮」で読みとれるケイ藻赤潮／非ケイ藻赤潮の各発生場所(図8)とDSi/DIN比の分布(図4)を比べると、東端の大阪湾奥では、DSi/DIN相対比が最低であるのにケイ藻赤潮が基調です。また、非ケイ藻類による有害赤潮が起こるのは主に夏ですが、実はこの時期にはDSi/DIN比は高くなっている(図8)、これも一見シリカ欠損仮説と矛盾します。

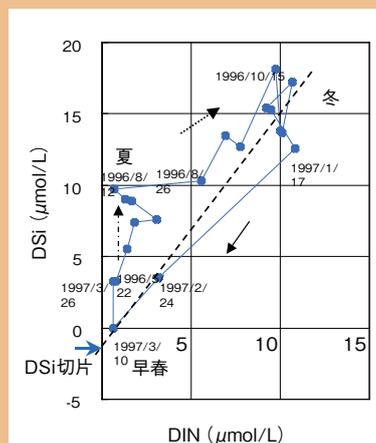
1つ目のポイントについては次のように説明できるでしょう。大阪湾東部については、DSiが琵琶湖で低下したとはいっても淀川経由で常時流入するのでケイ藻が不利になりません。事実、淀川河口から離れてなおかつDSi/DIN比がある程度低い播磨灘が非ケイ藻赤潮がよく起こる海域になっています。

2つ目のポイントについては、ビエンファンら(1982)によって明らかにされた「円心ケイ藻は、栄養塩、特にDSiが枯渇すると沈降を速める」という実験結果から説明できるかもしれません。すなわち、春にDSiが枯渇するとケイ藻が沈降して上層で希薄になってしまい、その後のDSiの河川流入でDSi/DIN比が高い状態になります。この状態で、ケイ藻類の後塵を拝していた非ケイ藻類が増殖できるようになります。少なくともN、Pの増減だけでは非ケイ藻赤潮の発生は説明で

きません。そして、フェリーの利用で、季節サイクルとその経年変化を観測できたことにより、実態が観やすくなったといえるでしょう。

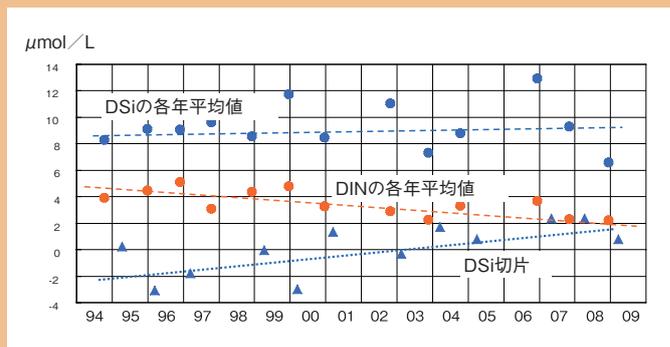
## ●クラゲ増加との因果関係は？

リチャードソン(2010)による「クラゲの暴走」という総説論文は、その人為的影響要因として、i)富栄養化によるクラゲの餌増加、ii)クラゲ幼生付着場所の増加、iii)クラゲと競合関係にある魚への漁獲圧、iv)貧酸素海域拡大(クラゲのほうが魚より貧酸素耐性がある)などと同時に、v)シリカ減少説を挙げています。すなわち、シリカ潤沢時の「高活性食物連鎖」(図1右上部分)が、シリカの低下につれて「低活性食物連鎖」(図2右上部分)に移り変わるといふ説です。この総説では、9ページ脚注1)の論文が引用されているので、この研究もなにがしかの貢献になったといえるでしょう。ただし、人為影響要因のほとんどが魚よりクラゲに有利に働くので、シリカ減少による事象だけを取り出すことが難しく、今後の研究に残された課題が大きいといえるでしょう。

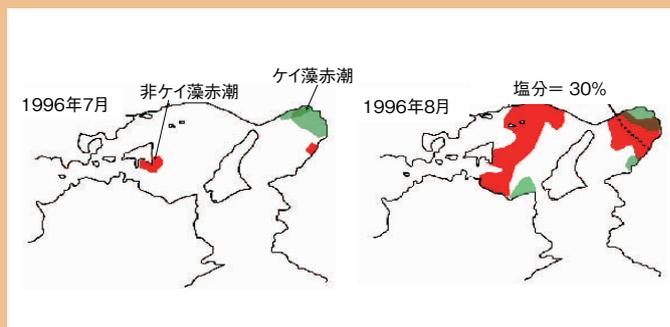


■ 図6 播磨灘表層におけるDIN(横軸)とDSi(縦軸)の1年間の季節変化(1996年春→1997年早春)

冬→早春の間のケイ藻の大増殖(春季ブルーム)で両栄養塩ともに減少します(実線矢印)。この時期のデータ点を直線回歸し(太い点線)、それが縦軸と交わる点を「DSi切片」と定義します。この値がマイナスであれば春にDSiが潜在的に枯渇し、プラスであればDSiが潤沢だといえます。DIN、DSiのいずれかが枯渇した時点でケイ藻の増殖は終わります。その後、初夏に河川流入量が増えるにつれてDSiだけが増えます(1点鎖線矢印)。また秋口に海面冷却が始まると、鉛直混合が起こり、下層の栄養塩が表層に上がってくるためDIN、DSiともに増加して冬季の高い値にもどります(点線矢印)。



■ 図7 播磨灘中央部におけるDIN(●)、DSi(●)の各年平均値およびDSi切片(▲)の長期変化。



■ 図8 瀬戸内海東部でのケイ藻赤潮(緑色部分)と非ケイ藻赤潮(赤色部分)の発生海域、1996年7月(左)および8月(右)。(水産庁刊「瀬戸内海の赤潮」のデータをもとにして作成して文献<sup>1)</sup>に掲載の後、修正のうえ本誌に転載、© The Royal Swedish Academy of Sciences)。

# シリカ欠損の研究とフェリー

環境儀No.39の内容は、「シリカ欠損仮説」という環境問題上の話題にまたがっています。前者については、1997年のネイチャー誌ですて以来、世界で研究が進んでいます。後者については、1991年ともに技術的な発展をはかってきました。その後、EU各国などでも

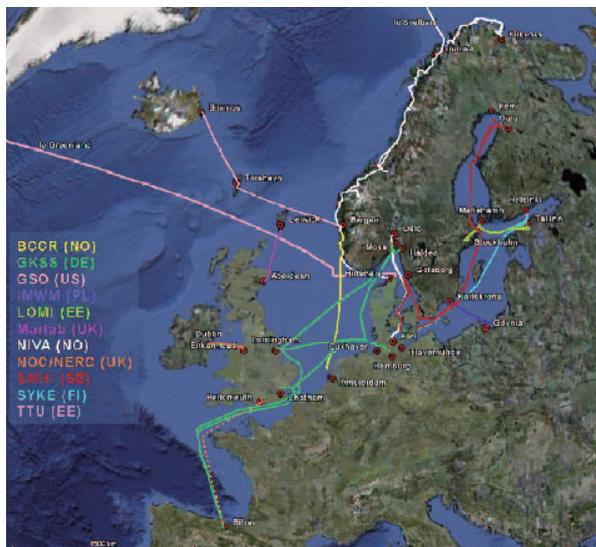


## ■世界では

海域環境におけるケイ素の重要性については、1980年にアメリカのオフィサー博士らが指摘したのが萌芽といえます。その後ドイツのラダック博士らは1990年の論文で、エルベ河口沖のヘルゴラント島付近で行われたモニタリング結果から、1960年代から1980年代にかけて、毎年春のケイ藻の大増殖の後に、ケイ素が枯渇して窒素が残留するようになり、これと符合するように渦鞭毛藻の増殖が顕著になったと述べました。

1997年には、スウェーデンのフンボルグ博士らが、黒海で非ケイ藻類による有害赤潮が増えたのは、ドナウ川にアイアンゲートダムが建設されてケイ酸の流下が減ったことが原因ではないかとする論文をネイチャー誌に発表し、世界にインパクトを与えました。

このような経緯から、IGSU-SCOPE(国際科学会議-環境問題科学委員会)により、国際シリカシンポジウムがスウェーデン(1998年)とベトナム(2002年)で開催されました。オーガナイザーの一人であるイテコト博士らは、Silicon Cycle(ケイ素の循環)」という本をとりま



■図9 EUフェリーボックス計画で利用されている定期航路の図(ドイツGKSSのW.ペーターゼン博士提供)

とめました。この中の6章「長江(揚子江)と東シナ海沿岸域の溶存ケイ酸」で、中国華東師範大学の張経教授が三峡ダムの影響についてとりあげています。

フェリー利用研究については、以上の研究とは別の海洋生物地球化学過程の観測技術という観点で発展してきたのですが、国立環境研究所はフィンランド海洋研究所とともに1997年、独シュプリングー社刊の「藻類大増殖のモニタリング-広域環境変動を検知する新技術」に寄稿するなど、初期の技術的発展に貢献しています。

その後2000年から、EU各国の協力により「欧州フェリーボックス計画」がスタートしました(図9)。2008年12月12日付けのサイエンス誌では、EUの計画のほか、国立環境研究所の仕事も「フェリー観測が日本-韓国付近の海域でも実行されている」という形で紹介されています。

さらに、2007年にSCOPEは、「閉鎖性海域への栄養塩・堆積物の流入」という国際シンポジウムを主催しました。この会合は環境問題に関する科学と政策決定の統合を念頭におき、発表よりもグループ討論、報告書とりまとめを中心に運営されました。その結果は「流域および閉鎖性海域システムの科学と管理」という書籍にまとめられました。その中では、様々な海洋生態系の脆弱性の問題のほか、環境変質と回復に関する履歴性の問題が強調されました。すなわち、汚染流入が増大してもはじめは目立たず、それがある閾値を越えた時点で急に劣化が顕在化すること、いったんこの閾値を越えてしまうと、はるかにきびしく負荷を削減しないと回復しないという問題です。さらに、Si/N比の低下やフェリーによるモニタリングの有効性も記載され、ここでシリカ欠損という研究目的とフェリー観測という技術的ブレイクスルーが一緒になったといえるでしょう。

## ■日本では

河川については、小林純博士のグループが、1950年代と1970年代に、全国の河川水質を組織的に調査し、その結果を1972年刊の岩波新書「水の健康診断」

# 観測 〈世界と日本の取り組み〉

と、「フェリーの利用による海洋生物・化学量計測」という技術上の話  
ウェーデンの研究者が、ドナウ川-黒海水系の環境変質の関連を発表し  
より国立環境研究所がさきがけとなって、時系列計測を継続させると  
同様なフェリー観測計画が進展しつつあります。



にまとめました。その中で、琵琶湖でシリカ濃度が格段に低下することがすでに紹介されています。また、北海道大学の角皆静男名誉教授がケイ素の重要性を述べてくれました。

行政面では、例えば国土交通省刊行の「河川水質年表」では、一部地域以外ではケイ酸がモニタリング項目に含まれていなかったのですが、近年、シリカを含む無機栄養塩濃度を高めようという動きがあります。河川環境管理財団(研究グループ座長：古米弘明東京大学教授)が2007年にまとめた「河川におけるケイ酸など無機溶存物質の流出機構に関する研究」は、これに関連した包括的な解説書となっています。

海域では、NIESのフェリー観測のほかには時系列的なシリカのモニタリング例は少ないのですが、水産庁による「浅海定線調査」の播磨灘部分にはシリカの長期時系列データが含まれています。またシリカ欠損仮説の検証における核心部分「ケイ藻と非ケイ藻類の

どちらが卓越しているか」には、水産庁の「瀬戸内海の赤潮」の記録が代替データとして貴重な存在となっています。

## ■ 国立環境研究所では

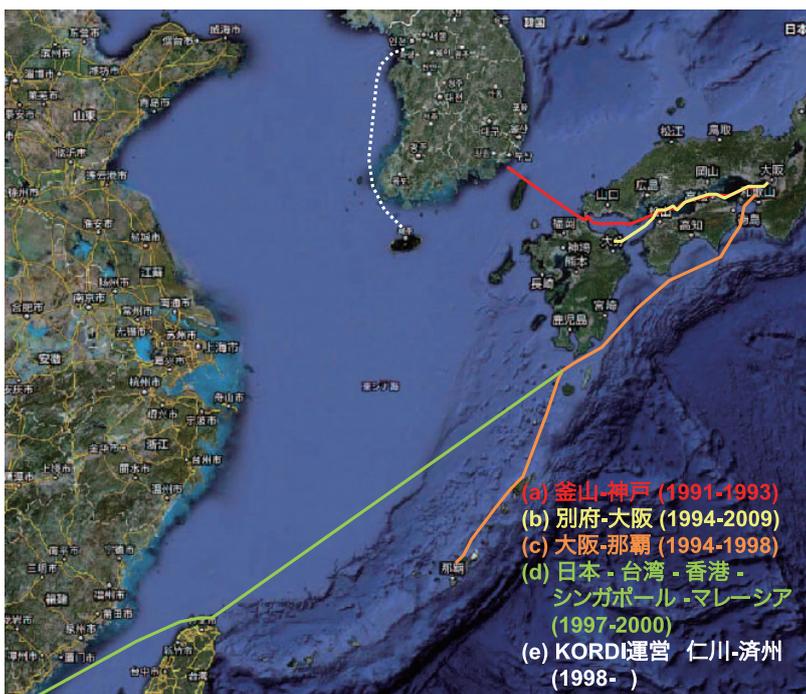
1980年代に特別研究プロジェクトとして、「海域における富栄養化と赤潮に関する基礎研究」が行われ、主に有害な渦鞭毛藻赤潮の動態に焦点が当てられました。

1990年には、環境庁に地球環境研究総合推進費、国立環境研究所地球環境研究センターに地球環境モニタリング経費が設けられました。海洋研究チーム(当時)は、両予算により、1991年にまず釜山(韓国)-神戸航路を定期航行する「フェリー檀皇」の連続取水系で海洋環境モニタリングを開始しました(図10)。観測当時は、シリカ欠損の研究に限定せず、定期航路利用によって時系列観測が可能となる栄養塩、プランク

トン属性、海水溶存CO<sub>2</sub>、微量有害化学物質の計測技術の発展や、人工衛星データとフェリーデータの相互比較検証など様々な項目の研究を複数機関で分担していました。

1993年に釜山航路が廃止になったため、「フェリーさんふらわあ」、「同くろしお」の航路利用に移行したほか、図10(d)のようなアジア縁辺海域の定期コンテナ船航路にも協力を依頼しました。また、日韓環境保護協定により、韓国海洋研究所(KORDI)との研究協力を行いました。1998年からはKORDIが独自に仁川-済州航路のフェリーで観測を始めました。

1996年からは、シリカ欠損問題を主目的とした研究プロジェクトを4期遂行しました(14ページの「研究のあゆみ」参照)。



■ 図10 国立環境研究所に協力していただいた定期航路船舶の航路図と調査期間  
ページ上部の写真は、左から、航路(a)フェリー檀皇(大阪国際フェリー)、航路(b)さんふらわあ2およびさんふらわあいぼり(関西汽船)、航路(c)フェリーくろしお(関西汽船)、航路(d)コンテナ船アリゲーターホープ(大阪商船三井) およびACX-LILY(東京船舶)

## 環境儀No.39に関わる研究のあゆみ

課題名

衛星可視域のグローバルマッピングによる広域海洋環境変動に関する研究(1)  
(環境省地球環境研究総合推進費 1990-1992年度)

課題名

衛星可視域のグローバルマッピングによる広域海洋環境変動に関する研究(2)  
(同上 1993-1995年度)

課題名

アジア大陸隣接海域帯における生態系変動の検知と陸域影響抽出に関する研究  
(同上 1996-1998年度)

課題名

アジア縁辺海域帯における海洋健康度の持続的監視・評価手法と国際協力体制の  
樹立に関する研究(同上 1999-2001年度)

課題名

グローバル水循環系のリン・窒素負荷増大とシリカ減少による海洋環境変質に関  
する研究(同上 2002-2004年度)

課題名

流下栄養塩組成の人為的变化による東アジア縁辺海域の生態系変質の評価研究  
(同上 2006-2008年度)

課題名

「東アジア海域海洋環境モニタリング」  
(1990-2000年度、CGER 地球環境モニタリング経費)

課題名

「定期航路船舶を利用した海洋汚染に関する研究」日韓環境保護協定(JE6-1 お  
よび KE6-1)に基づく韓国海洋研究所(KORDI)との共同研究  
(1991-2007年度)

これらの研究は以下の代表者・グループ・機関によって実施されました(所属は当時、敬称略)

### 国立環境研究所

地球環境研究グループ 海洋研究チーム 原島 省、 切刀正行  
(1990-2000年度)

水圏環境研究領域 海洋環境研究室 原島 省  
(2001-2010年度)

地球環境研究センター 研究管理官・観測第一係(1990-2000年度)

東アジア海域海洋環境モニタリング検討委員会  
(座長:半田暢彦 名古屋大学名誉教授(故人)ならびに委員各位)

### 共同研究機関

韓国海洋研究所(KORDI)、独ダルムシュタット工科大学、遠洋水産研究所、西海区水産研究所、日本海区水産研究所、瀬戸内海区水産研  
究所(以上4機関は現在(独)水産総合研究センター)、資源環境技術総合研究所、電子技術総合研究所(以上2機関は現在(独)  
産業技術総合研究所)、気象研究所、船舶技術研究所(現在は(独)海上技術安全研究所)、近畿大学、東海大学、信州大学、岡  
山大学、九州大学、滋賀県立大学、広島大学

### 協力機関

財日本気象協会関西支社、財海洋化学研究所、財地球・人間環境フォーラム、(株)日本海洋生物研究所、(株)日本エヌユーエス、(株)紀本電子  
工業、(株)日本船舶通信(現在は(株)ドコモ・モバイル)

フェリーさんふらわあ2、同さんふらわああいぼり(関西汽船)、フェリー檀皇(大阪国際フェリー)、コンテナ船ACX LILY((株)東京船舶)、  
同アリゲーターホープ((株)大阪商船三井)、(社)日本海難防止協会、(株)三菱重工下関造船所

注)上記の研究課題には「シリカ欠損」だけでなく、幅広い海洋生態系変動メカニズムや定期航路船舶利用技術に関する研究テーマが含ま  
れていました。また、紙面の制約でお名前を銘記できませんでしたが、御協力・貢献を賜りました多くの個人および機関に深謝いたします。

●本研究に関する成果は以下のウェブページでもご覧いただけます。

<http://www.env.go.jp/earth/suishinhi/wise/j/J08D0061000.htm>

[http://db.cger.nies.go.jp/gem/sea/SE\\_Pacific/me.html](http://db.cger.nies.go.jp/gem/sea/SE_Pacific/me.html)

[http://www.cger.nies.go.jp/cger-j/report/r\\_index-j.html](http://www.cger.nies.go.jp/cger-j/report/r_index-j.html) から以下報告書がダウンロード可能です。

「M007-2000 フェリー利用による海洋環境モニタリングおよび関連研究に関する総合報告書」

## ● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、流域～海域の生態系変質やその対策と関連するものをいくつかご紹介します。

### No.30 河川生態系への人為的影響に関する評価—よりよい流域環境を未来に残す

ダム建設による流れの分断や、護岸工事による淵や瀬の消失など、人為的な改変が河川生態系に大きな影響をもたらしています。本号では、健全な流域環境を維持するために、こうした影響の実態を調査した結果を紹介します。

### No.23 地球規模の海洋汚染—観測と実態

残留性有機汚染物質（POPs）や環境ホルモンなど、多様な物質による海洋汚染が地球規模で拡大しています。国立環境研究所では、その空間的拡がりや季節変動を把握するために定期航路上の商船に観測装置を搭載してその実態を調査しており、その結果を紹介します。

### No.16 長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方

中国長江流域は、三峡ダム築造で知られるように急ピッチで開発が進んでいます。自然環境と共存可能な持続的な発展をめざし、国立環境研究所が中国との協力で行っている、衛星や水質データに基づいた流域圏の環境管理手法研究を紹介します。

### No.15 干潟の生態系 その機能評価と類型化

環境アセスメント制度が一般化し、干潟保全についても適用されるため、開発の影響を客観的・定量的な指標が必要になっています。国立環境研究所では全国の代表的な干潟を調査するとともに生態系機能評価モデルの開発に取り組んでいます。

### No.3 干潟・浅海域 生物による水質浄化に関する研究

干潟などの浅海域は、有機物分解による水質浄化能力が高く、その中で二枚貝などの生物が果たす役割が中心になっています。生物活動に着目して浅海域の環境保全を行うために国立環境研究所で行われている科学的な調査・評価手法を紹介します。

## 環境儀 No.39

—国立環境研究所の研究情報誌—

2011年1月31日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当 WG 稲葉一穂、原島省、森保文、中山忠暢、滝村朗、玉置雅紀)

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

問合せ先 (出版物の入手) 国立環境研究所情報企画室 029 (850) 2343

(出版物の内容) // 広報・国際室 029 (850) 2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

編集協力 財団法人日本宇宙フォーラム

〒100-0004 東京都千代田区大手町 2-2-1 新大手町ビル 7階

無断転載を禁じます

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可

本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料「Aランク」のみを用いて作製しています。

## 「環境儀」既刊の紹介

No.1	環境中の「ホルモン様化学物質」の生殖・発生影響に関する研究	2001年 7月
No.2	地球温暖化の影響と対策— AIM: アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル	2001年 10月
No.3	干潟・浅海域—生物による水質浄化に関する研究	2002年 1月
No.4	熱帯林—持続可能な森林管理をめざして	2002年 4月
No.5	VOC—揮発性有機化合物による都市大気汚染	2002年 7月
No.6	海の呼吸—北太平洋海洋表層のCO <sub>2</sub> 吸収に関する研究	2002年 10月
No.7	バイオ・エコエンジニアリング—開発途上国の水環境改善をめざして	2003年 1月
No.8	黄砂研究最前線—科学的観測手法で黄砂の流れを遡る	2003年 4月
No.9	湖沼のエコシステム—持続可能な利用と保全をめざして	2003年 7月
No.10	オゾン層変動の機構解明—宇宙から探る 地球の大気を探る	2003年 10月
No.11	持続可能な交通への道—環境負荷の少ない乗り物の普及をめざして	2004年 1月
No.12	東アジアの広域大気汚染—国境を越える酸性雨	2004年 4月
No.13	難分解性溶存有機物—湖沼環境研究の新展開	2004年 7月
No.14	マテリアルフロー分析—モノの流れから循環型社会・経済を考える	2004年 10月
No.15	干潟の生態系—その機能評価と類型化	2005年 1月
No.16	長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方	2005年 4月
No.17	有機スズと生殖異常—海産巻貝に及ぼす内分泌かく乱化学物質の影響	2005年 7月
No.18	外来生物による生物多様性への影響を探る	2005年 10月
No.19	最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」	2006年 1月
No.20	地球環境保全に向けた国際合意をめざして—温暖化対策における社会科学的アプローチ	2006年 4月
No.21	中国の都市大気汚染と健康影響	2006年 7月
No.22	微小粒子の健康影響—アレルギーと循環機能	2006年 10月
No.23	地球規模の海洋汚染—観測と実態	2007年 1月
No.24	21世紀の廃棄物最終処分場—高規格最終処分システムの研究	2007年 4月
No.25	環境知覚研究の勧め—好ましい環境をめざして	2007年 7月
No.26	成層圏オゾン層の行方—3次元化学モデルで見るオゾン層回復予測	2007年 10月
No.27	アレルギー性疾患への環境化学物質の影響	2008年 1月
No.28	森の息づかいを測る—森林生態系のCO <sub>2</sub> フラックス観測研究	2008年 4月
No.29	ライダーネットワークの展開—東アジア地域のエアロゾルの挙動解明を目指して	2008年 7月
No.30	河川生態系への人為的影響に関する評価—よりよい流域環境を未来に残す	2008年 10月
No.31	有害廃棄物の処理—アスベスト、PCB処理の一翼を担う分析研究	2009年 1月
No.32	熱中症の原因を探る—救急搬送データから見るその実態と将来予測	2009年 4月
No.33	越境大気汚染の日本への影響—光化学オキシダント増加の謎	2009年 7月
No.34	セイリング型洋上風力発電システム構想—海を旅するウィンドファーム	2010年 3月
No.35	環境負荷を低減する産業・生活排水の処理システム—低濃度有機性排水処理の「省」「創」エネ化—	2010年 1月
No.36	日本低炭素社会シナリオ研究—2050年温室効果ガス70%削減への道筋	2010年 4月
No.37	科学の目で見える生物多様性—空の目とミクロの目	2010年 7月
No.38	バイオアッセイによって環境をはかる—持続可能な生態系を目指して	2010年 10月

## 「環境儀」

地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように、「環境儀」という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしという意図が込められています。「環境儀」に正確な地図・行路を書き込んでいくことが、環境研究に携わる者の任務であると考えています。

2001年7月 合志 陽一  
(環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字N.I.E.Sで構成されています。  
N=波(大気と水)、I=木(生命)、E=Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。  
ロゴマーク全体が風を切って左側に進むように動くのは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。

