



NIES RESEARCH BOOKLET

環境儀

NO. 53

JUNE 2014

国立環境研究所の研究情報誌

サンゴ礁の 過去・現在・未来


環境変化との関わりから保全へ



独立行政法人

国立環境研究所

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

A diver in a red and black wetsuit is shown underwater, holding a white folder or clipboard. The diver is positioned on the right side of the frame, looking down at the folder. The background is a vast, deep blue ocean with a coral reef visible in the lower right. The lighting is natural, coming from above, creating a serene and somewhat somber atmosphere. The text is overlaid on the lower left portion of the image.

サンゴ礁には様々な生き物がすんでおり、「海の熱帯林」とも呼ばれています。ところがサンゴ礁の多くは、環境の変化によって現在、衰退の危機にさらされています。サンゴ礁を未来に残すために、環境の変化が与える影響を明らかにし、保全策を立案することが必要です。



サンゴ礁は地球の表面積の0.1%の面積を占めるにすぎませんが、そこに9万種もの多様な生物が生息しており、人間に漁業資源や観光資源を提供しています。また、サンゴ礁は天然の防波堤となり、沿岸に住む人々を高波から守ります。ツバルやモルディブのように、国土のすべてがサンゴ礁でできている国もあります。

このように人間を含めた生き物に多大な恩恵を与えてくれるサンゴ礁ですが、近年、気候変動や赤土の流出など陸域からの負荷によってサンゴが減少し、急速に衰退しています。

国立環境研究所では、モニタリングやデータベースの作成を通じて、環境変化がサンゴ礁に与える影響を明らかにし、サンゴ礁の将来予測や保全策の立案を行う研究に取り組んでいます。

本号では、過去から未来にかけてのサンゴ礁の変化と、それに基づく保全策について、最新の研究成果を交えながら紹介します。



C O N T E N T S

サンゴ礁の過去・現在・未来

環境変化との関わりから保全へ

- Interview 研究者に聞く
サンゴ礁を守り、再生するために
..... p4 ~ 9
- Summary
日本のサンゴの変化から世界が見える
..... p10 ~ 11
- 研究をめぐって
サンゴ礁の異変 p12 ~ 13
- 国立環境研究所における
「サンゴ礁の保全に関する研究」
のあゆみ p14

Interview 研究者に聞く

海の中で最も多くの生物が集まり、生物多様性に富む生態系であるサンゴ礁が深刻な危機に直面しています。この問題には地球温暖化などの環境の変化が大きく関わっていると考えられています。生物・生態系環境研究センター 生物多様性保全計画研究室室長の山野博哉さんは、サンゴが衰退した原因を探り、サンゴを保全するために、研究に取り組んでいます。



山野博哉 / 生物・生態系環境研究センター
生物多様性保全計画研究室 室長

サンゴ礁を守り、再生するために

サンゴは動物、植物、鉱物の性質を持つ

Q: サンゴはどんな生き物なのですか。

山野: サンゴは樹木のように枝分かれているものもあり、一見、植物のように見えるのですが、実は動物です。イソギンチャクやクラゲの仲間、刺胞動物(腔腸動物)に分類されています。サンゴには、サンゴ礁を作る造礁サンゴ(イシサンゴ)と宝飾品として利用される宝石サンゴがあり、ともに刺胞動物です。造礁サンゴは浅い海にすんで成長が早いものに対して、宝石サンゴは深い海でゆっくりと成長します。

Q: サンゴはどのように成長するのですか。

山野: 個体がどんどん分裂し、群体を作りながら成長します。1つの群体には数百から数千、大きなもので

は数万の個体が集まっています(p.5上段 スポミキクメイシの標本写真)。さらに、造礁サンゴは石灰質の石の骨格を作ります。生きている群体の下に骨格を作り、成長とともに骨格が大きくなっていきます。

Q: サンゴはどのように生きているのでしょうか。

山野: 造礁サンゴは、体内に小さな藻(褐虫藻)をたくさんすまわせています。褐虫藻は、植物プランクトンの一種で、活発に光合成をしています。造礁サンゴは体内の褐虫藻の光合成によってエネルギーの多くを得ています。サンゴは「動物」ですが、光合成をするなど「植物」としての性質を持ち、さらに石灰質で「鉱物」としての性質も持つおもしろい生き物です。

Q: 造礁サンゴはなぜ浅い海にいるのでしょうか。

山野: 造礁サンゴは、体内の褐虫藻の光合成のために

■図1 サンゴの生活史

サンゴには卵と精子を一斉に放出して海面で受精するタイプ(放卵放精型)と、体内で受精し成熟したプラナラ幼生を放出するタイプ(幼生保育型)の2タイプがあります。プラナラ幼生は、海流によって遠くまで運ばれ、定着して成長します。波利井佐紀(琉球大学)提供





サンゴの標本 (スポミキクメイシ)
一つひとつの穴にサンゴの個体 (図2) がいて、分裂して群体となります。

光が必要です。このため、光が届く浅い海に生息しています。水深20mくらいまでには、様々な種類のサンゴが分布しています。澄んだ海でしたら、水深80mくらいまで造礁サンゴが見られます。私たちが研究対象としているのは、この造礁サンゴです。以下サンゴといえば、造礁サンゴを指します。

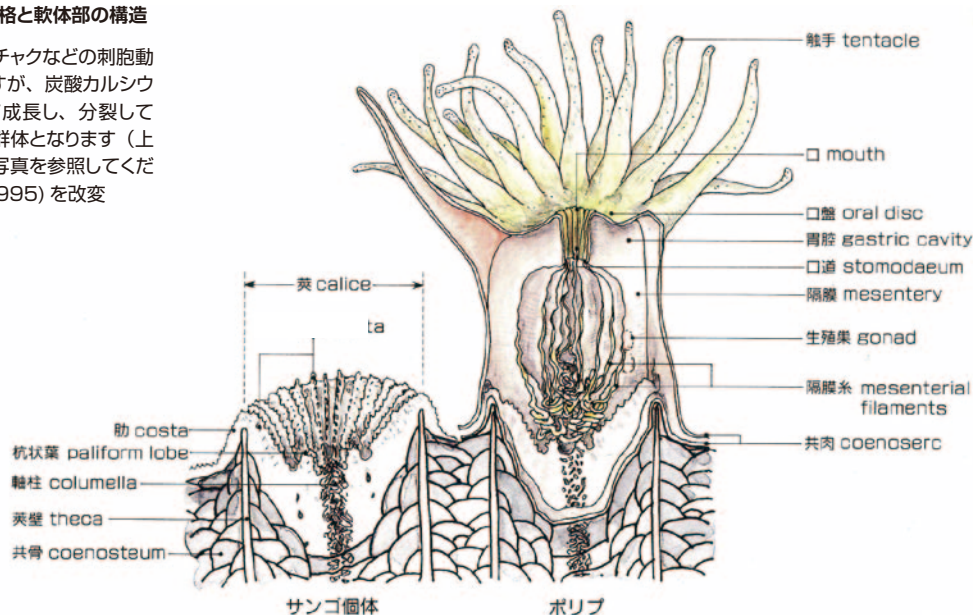
サンゴとサンゴ礁

Q：サンゴとサンゴ礁は違うのですか。

山野：「サンゴ」は動物の一匹一匹、または群体の1つ1つを指します。「サンゴ礁」はサンゴが石灰質の骨格を積み重ねて海面近くまで高まりを作る地形を指します。サンゴ礁を作る造礁サンゴの群体の骨格の形は、枝状、塊状、テーブル状など、生息場所の環境に応じて様々です。生きているサンゴは表面を覆っているだけで、群体の形は石の骨格によって作られます。この石の骨格がどんどん積み重なって、サンゴ礁という巨

■ 図2 造礁サンゴの骨格と軟体部の構造

サンゴの個体はイソギンチャクなどの刺胞動物と同じ構造をしています。炭酸カルシウムでできた骨格を作って成長し、分裂して増えて、個体が集まった群体となります (上段のスポミキクメイシの写真を参照してください)。西平・Veron (1995) を改変



大な地形を作り上げています (図1、図2)。

Q：サンゴは世界中にいるのですか。

山野：サンゴは水温が30℃くらいまでの暖かい海が最も生息に適しています。そのため、熱帯や亜熱帯の海岸に多く分布しています。世界で一番サンゴの種類が多いのは、インドネシア、フィリピン、ニューギニアに囲まれた海域で、450種以上のサンゴが分布しています。この海域から離れるにしたがって、サンゴの種類は減少することが知られています。また、インド洋と太平洋には基本的に同じ種類のサンゴが分布していますが、大西洋には違う種類のサンゴが分布しており、種類も少なくなっています (図3)。

Q：日本ではサンゴはどのように分布していますか。

山野：日本はサンゴとサンゴ礁の分布の北限にあたります。サンゴ分布の中心である熱帯・亜熱帯域から黒潮が流れてくるため、同じ緯度の他の地域に比べて多くの種類のサンゴが分布していることが特徴です。琉球列島から九州、四国、本州に沿って、北へ行くほどサンゴの種類は減少し、太平洋側では千葉県、日本海側では新潟県までサンゴの生息が確認されています (図4)。また、これまでサンゴ礁の北限は、日本では鹿児島県の種子島、世界では大西洋のパミュダ諸島とされてきましたが、最近、私たちは北九州の壱岐と対馬にサンゴ礁が形成されていることを確認しました。

サンゴ礁は生物多様性の場

Q：サンゴ礁にはどのような生物がいますか。

山野：サンゴ礁は海の中で最も多くの生き物がすむと

いわれています。サンゴ礁は藻類など小さな生物に隠れ場所となるすみかやエサを与えます。するとそこには、それらの小さな生物をエサとする大きな魚やエビなどが集まります (p.7 上段写真)。

Q: サンゴ礁はなぜ重要なのですか。

山野: サンゴ礁の面積は地球表面の約0.1%しかありませんが、9万種もの生物がいるとされ、生物多様性が高いのが特徴です。このように多くの生命を育むサンゴ礁は、生物多様性から見ればとても重要な場所であるため、「海の熱帯林」と呼ばれることもあります。また、サンゴ礁では漁業が営まれ、人間に食料を提供していますし、美しいサンゴ礁は旅行者を引きつける観光資源でもあります。さらには、国土のすべてがサンゴ礁でできている国もあります (p.6 上段写真)。このようにサンゴ礁は、人間の生活とも非常に深い関わりがあるのです (図5)。

サンゴ礁に魅せられて

Q: 研究を始めたきっかけは何ですか。

山野: 私は学生時代に自然地理学を専攻しており、環境に対応したサンゴの分布や過去数千年間のサンゴ礁の成り立ちなどを研究していました。初めてサンゴ礁で泳いだときに、岸から沖へと海水の流れの強さに応じてサンゴの分布が変化していることに興味を持ったのが研究を始めたきっかけです。

最初は現在の海水の流れとサンゴの分布の関係を調べていましたが、だんだん時間を遡り、航空機から撮影された写真を使って過去数十年のサンゴ分布の変化



サンゴ礁は人間が居住する場 (ツバル・フォンガファレ島) 茅根 創 (東京大学教授) 撮影

を見たり、サンゴ礁を掘削したサンプル(コア) (図8) を解析して過去6000年のサンゴ礁の成り立ちを明らかにしたりしました。国立環境研究所に来てからは、サンゴ礁の生態系変動の観測と解析を行っています。学生のとき以来、20年以上ずっとサンゴ礁に魅せられています。

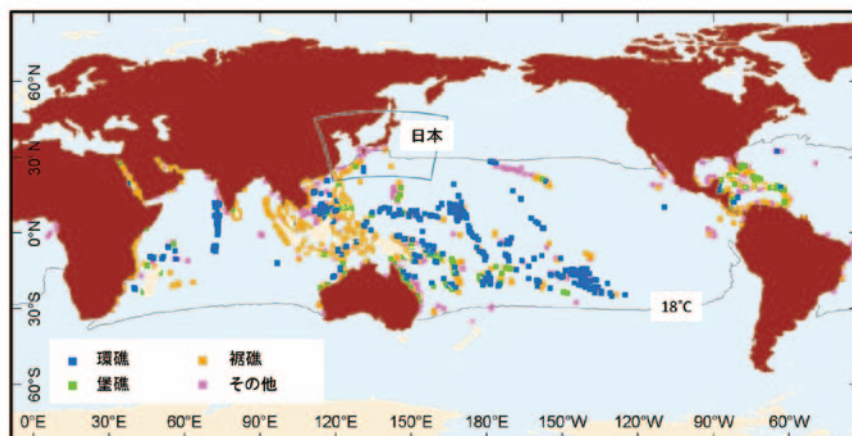
Q: 研究のねらいは何ですか。

山野: 現在、サンゴ礁は地球温暖化など環境の変化の影響を受けて急速に衰退しており、その保全が急がれています。そこで私は、サンゴ分布の変化を引き起こす要因を明らかにし、保全対策を立てることを目的に研究を進めています。

それと同時に、サンゴの分布状況のモニタリングと予測を通じて、地球温暖化などすぐに止められない環境の変化に私たちが適応するための基礎的な情報提供を行えるように取り組んでいます。調査は、研究者だけでなくNPOやダイバーの方々とも一緒に行い、広く情報を集めるとともに、広く成果を知っていただいています (p.10-11 下段コラム)。

■ 図3 世界のサンゴ礁分布

サンゴ礁の分布は、最寒月の平均水温が18°C以上の暖かい海域とほぼ一致しています。温帯では、サンゴはサンゴ礁を作らなくなります。日本はサンゴとサンゴ礁の分布の北限域にあたります。Reef Base のデータより作成。





サンゴ礁は生物多様性の場（沖縄県）



at Risk]という調査報告によれば、世界のサンゴ礁の58%が危機にさらされているとのこと。沿岸開発、生物資源の乱獲、ダイナマイト漁などの破壊的漁法の実施、海洋汚染、森林伐開や農地開発に起因する表土流出などの人間の活動に加え、ハリケーンによる破壊、サンゴを食べるオニヒトデの大量発生や高水温による白化現象などもサンゴを死滅させる原因となっています(図5)。この報告書は2011年に改訂され、そこでは世界のサンゴ礁の75%が危機的な状況にあると報告されました。

サンゴ礁の減少

Q: サンゴ礁はどんな状況ですか。

山野: 今、サンゴ礁は壊滅的な状況にさらされています。国際自然保護連合(IUCN)などの調査によると、世界の3分の1のサンゴの種類で絶滅の危険性が高まっているといわれています。

Q: サンゴ礁が衰退するとどのような影響があるのですか。

山野: 先ほども述べたようにサンゴ礁には多くの生き物がすんでいます。もしもサンゴが死んでしまうとサンゴ礁をすみかにする生物だけでなく、サンゴ礁にすむ生物を食べる生物も姿を消してしまうことになり、生態系バランスが崩れてしまいます。そして、人間にとっては漁業資源、観光資源が失われてしまうこととなります。中でも、ツバルやモルディブのようなサンゴ礁でできた国は深刻な影響を受けると思います。

Q: サンゴが減った原因は何ですか。

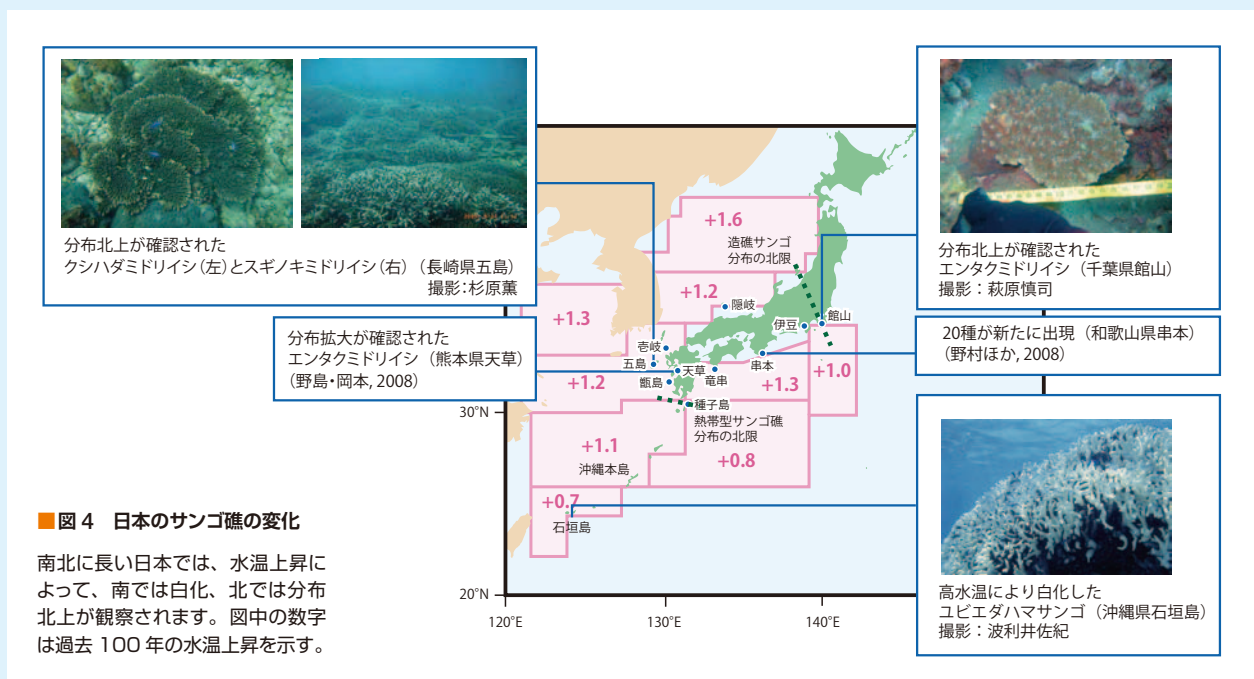
山野: 1998年に世界資源研究所が発行した「Reefs

Q: 日本でも同じような原因で減っているのですか。

山野: はい。陸から大量の土砂が海に流入して海水が濁り、サンゴに土砂がたまると、サンゴの中の褐虫藻が光合成できなくなったり、サンゴが窒息してしまったりしてサンゴが死んでしまいます。また、サンゴの天敵であるオニヒトデの大量発生もサンゴに被害を与えています。オニヒトデの大量発生は海へ流れ込む有機物が以前より増えているからだと考えられています。サンゴの白化現象も深刻です。これには、地球温暖化など気候変動が大きく関与していると考えられています。

Q: 白化現象とは何ですか。

山野: サンゴの白化現象とは、サンゴが褐虫藻を失うことにより起こります。褐虫藻を失うとサンゴの白い骨格が透けて見え、白くなるため白化現象と呼ばれます。環境が回復すれば、サンゴは褐虫藻を再び獲得して健全な状態に戻りますが、白化した状態が長く続くと、サンゴは褐虫藻からの光合成生産物を受け取ることができなくなり、死んでしまいます(p.8上段写真)。



Q：どうして白化が起こるのですか。

山野：サンゴの白化が起きる原因には、水温の変化や強い光、紫外線、低い塩分などが考えられています。中でも原因としてよくあげられるのが高水温です。サンゴに適した水温は25℃から28℃といわれていますが、水温が30℃を超える状態が長期間続くと褐虫藻に異常が起こり、白化を引き起こします。温暖化による長期的な海水温の上昇に加え、エルニーニョなどの気候的な原因により短期的な海水温の上昇が引き起こされます。1997年から1998年にかけてエルニーニョの影響で全世界的に海水温が上昇し、大規模な白化現象が起こりました。

Q：地球温暖化がサンゴに大きな影響を及ぼしているのですね。

山野：はい。しかしそれだけではありません。もう一つやっかいな問題として、二酸化炭素が海水に溶け込んで起こる海洋酸性化があります。海洋酸性化が起こると、サンゴの石灰化が阻害されます。つまり二酸化炭素の増加もサンゴにとって大きな脅威なのです。

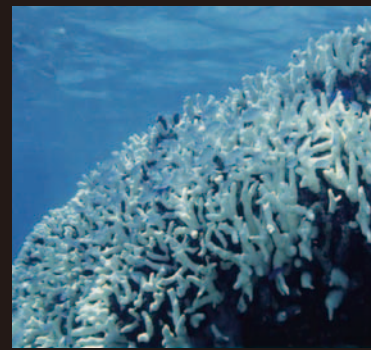
サンゴ礁を守る

Q：サンゴ礁を守るためにはどうすればいいのでしょうか。

山野：当面の方策として、海洋保護区の設定や、土砂の流出など地域的な環境負荷を減らすなどの保全策や、サンゴ増殖・移植などの再生策が考えられています。また、サンゴ自身が環境の変化に適応する可能性も指摘されており研究の進展が期待されます。長期的



水温上昇とサンゴの白化（沖縄）
波利井佐紀（琉球大学）撮影



高水温により褐虫藻が抜け出して白化したサンゴ（1998年）

にはサンゴ礁を守るために世界各国が協力して活動しなければなりません。そのため、国際サンゴ礁イニシアチブという体制が1995年にできました。日本ではそのための施設として環境省国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターが沖縄県石垣市に設置されています。

Q：国立環境研究所ではどのような活動をしていますか。

山野：サンゴ礁やサンゴの様子を海を潜って調査したり、人工衛星のデータを用いてサンゴの分布状況を解析したり、新しくボートを使った観測システムを開発したりしてサンゴ分布のデータベースをつくっています。このデータベースから、サンゴ礁の異変を見つけることができます。

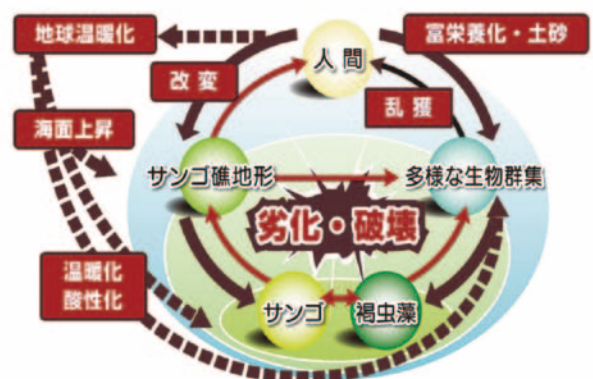
サンゴが減少した原因なども探っています。これまで、沖縄では高水温による白化現象によってサンゴが大幅に減少してしまったことや、九州から北では水温が上昇してサンゴの分布が北上していることを明らかにしてきました（図4、図6）。また、土砂の流出など

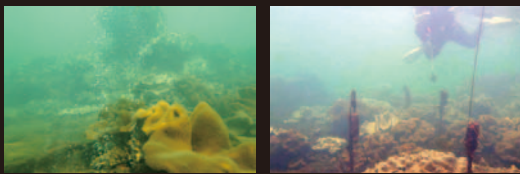
■ 図5 サンゴの機能と減少要因

サンゴは、褐虫藻と共生しています。成長してサンゴ礁を形成し、そのサンゴ礁は多様な生き物のすみかとなると同時に、人間の居住場所も提供します。また、褐虫藻は光合成を行って、他の生物の食べ物を提供しており、サンゴ礁にすむ魚などの生き物は人間にとって漁業資

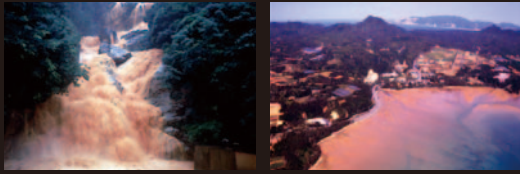
源となります。現在、サンゴ礁は、地球温暖化などのグローバルな要因と、土砂流入などローカルな要因の両方の影響を受けて衰退しています。

茅根 創（東京大学教授）提供





海洋酸性化によりソフトコーラルに変化
井上志保理（東京大学）提供



赤土の流出と堆積
沖縄県衛生環境研究所提供



大幅に少なくなるという結果が得られました(図7)。

サンゴ礁を保全するために必要なこと

Q: 将来サンゴ礁がなくなってしまうのですか。

山野: それは私たちの環境意識と活動にかかっています。二酸化炭素の排出を減らすシナリオで予測したところ、地球温暖化と海洋酸性化の影響はかなり低減されることがわかりました。また、沖縄県で行われているモニタリングの結果から、陸からの負荷の少ないサンゴ礁で、1998年の大規模白化からサンゴが回復していることもわかってきました。二酸化炭素排出を減らすとともに、陸からの負荷など、サンゴにとってのストレスを減らすことが必要です。

Q: 今後どのように研究を進めたいですか。

山野: サンゴ礁の変化は徐々に明らかになっていますので、予測の精度を上げるとともに、保全や適応に向けた具体的な行動につながる研究を進めていきたいです。例えば、サンゴ分布のデータベースが充実すれば、どの海域を優先的に保全すべきかを解析することができます。将来予測については、モニタリングの結果に基づいて予測精度を上げる必要があるでしょう。

また、陸からの負荷を減らすためには、サンゴを調べるだけでなく、人々の社会を知る必要があります。サンゴ礁は、さまざまな分野との学際的な調査研究活動の場です。どうすればサンゴ礁を維持できるのか、その可能性を明らかにし、具体的な対策につなげていきたいと思っています。

陸からの負荷がサンゴに及ぼす影響についても実証しました。

Q: これからサンゴ礁はどうなってしまうのでしょうか。

山野: 大規模なサンゴの白化現象の報告は1980年代以降急激に増加しており、この増加は地球温暖化によるものだという説があります。地球温暖化のシミュレーションにより予想される今後の海水温の上昇と、過去にサンゴの白化を引き起こした海水温をあわせて考えると、今後サンゴの白化の頻度はますます高くなり、毎年白化するのではないかと心配されています。また、二酸化炭素が海に溶け込んで起こる海洋酸性化の影響は今後大きくなることが予想されます。

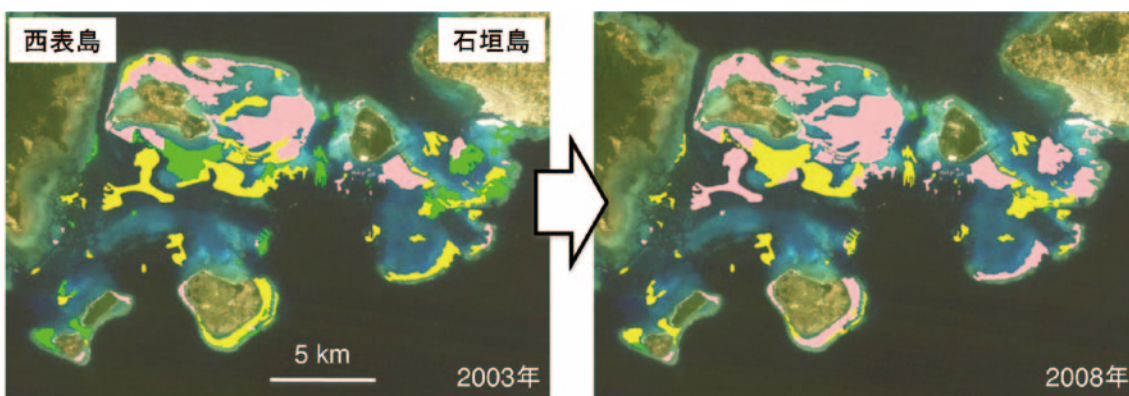
私たちは、将来の地球環境を予測する気候モデルの出力結果を使い、地球温暖化と海洋酸性化によるサンゴの分布の変化予測をしています。それによれば、温暖化シナリオの1つである多元化社会シナリオの下では、海水温上昇よりも海洋酸性化の影響の方がはるかに大きく、日本近海でサンゴが生息できる領域が将来

■ 図6 水温上昇によるサンゴの白化

2007年夏の高温により、日本で最大規模のサンゴ礁を有する西表島でも、サンゴの白化現象が起こりました。衛星画像や空中写真の解析から、サンゴが1/3に減少したことが明らかになりました。左の画像は、2003年(白化が起きる前)のサンゴの状態を、右の画像は、2008年(白化が起きた後)の状態を示しています。サンゴの状態を3つに分け、緑色の部分は健全なサンゴの比率が50-

100%、黄色は5-50%、ピンク色は5%以下であることを表しています。左右を比べてみると、2003年には緑色だった部分が、2008年に黄色またはピンク色に変わり、緑色が少なくなっていることがわかります。これは、白化により、健全なサンゴが減少したことを示しています。

環境省提供



日本のサンゴの変化から世界が見える

環境の変化に対してサンゴがどう変化してきたかについてのデータは少なく、科学的な裏付けはまだ十分でないのが現状です。そこで、過去からのサンゴ分布のデータを収集するとともに、サンゴの長期的なモニタリングを行うことが必要となってきます。こうしたデータは環境変化の影響を実証し、今後の変化に人間が適応してゆくための情報を提供します。また、サンゴ礁の将来の予測をするための基礎データを提供したり、予測結果を検証したりすることにも活用されます。

日本のサンゴ分布

南北に長い日本では、熱帯・亜熱帯に起源をもつさまざまな生物の分布北限域が、国内沿岸域の各所で認められます。サンゴは、日本海側では新潟県、太平洋側では神奈川県と千葉県が分布北限となっています(図4)。また、広いスケールで見ると、日本は大陸から遠く、大陸の影響を受けにくいので、水温上昇の影響が見やすいと考えられます。世界で日本と同じ緯度の地域を見てみると、すべてが大陸である(南北アメリカ大陸、オーストラリア大陸、アフリカ大陸)ことがわかります(図3)。大陸の近くでは、大陸からの河川による大量の淡水や土砂の流入があり、それらがサンゴの分布に影響を与え、水温の影響を見えにくくしていると考えられます。以上のことを考えると、日本は、世界に類の無い、水温上昇による海洋生物の分布変化を知る基準となる地域と言えます。過去100年で、日本近海の水温は1℃程度上昇しています。このように長期のデータを集め、モニタリングを行って、サンゴ分布の変化を明らかにすることによって、地球温暖化の沿岸海洋生態系への影響評価を行うことがで

きます。将来的には、サンゴは海水温上昇とともに海洋酸性化の両方の影響を顕著に受けると考えられ、亜熱帯から温帯までサンゴが生息している日本は、水温上昇と海洋酸性化がサンゴ礁生態系に与える影響を評価するモデルケースとなり得ます。もちろん、島単位で見ると、河川からの土砂の流入など陸域の影響も観察されます。そのため、日本では海水温上昇などの地球規模の環境変化と、土砂流入などの地域規模の環境変化の両方の影響を解析することも可能です。

サンゴの変遷

海水温上昇が造礁サンゴに与える影響として、南では高水温による白化現象、北では水温上昇によるサンゴの分布域の北上というふたつが考えられています。1997~1998年には、世界的に水温が上昇し、各地で大規模な造礁サンゴの白化が起きました。日本でも大規模な白化が観察されました。2007年には、日本では夏に高水温による大規模な白化が起きました。石垣島と西表島の間にある、日本最大規模のサンゴ礁である石西礁湖のサンゴ礁では、衛星画像や空中

市民参加型モニタリング調査

市民参加型のモニタリングは多くの目を必要とするモニタリングに威力を発揮します。2008年の国際サンゴ礁年を機に、ダイバー、NPOや研究者のネットワークが作られ、精力的なモニタリング活動を行っています。

例えば「北限域の造礁サンゴ分布調査プロジェクト」では一般ダイバーと研究者の共同調査により、太平洋側の分布北限といわれている伊豆半島・三浦半島・房総半島に分布する造礁サンゴの実態をできる限り把握し、設定したモニタリングサイトの経年変化を調べています。

また「日本全国みんなで作るサンゴマッププロジェクト」は、日本全国のダイバーやスノーケリングを楽しんで

いる人々に、全国各地で観察した「サンゴの分布情報」、「白化情報」、「産卵情報」についての情報を提供してもらい、その情報をもとに日本全国のサンゴの分布や異変を明らかにするものです。このプロジェクトでは、ウェブサイトを通じてサンゴに関する情報を広く集めています。2013年には、サンゴマップからサンゴの白化情報を集めることができ、データから水温と白化との関係を解析することができました。

これらの取り組みにより、市民にサンゴ礁に対する関心を深めてもらうとともに、広域での継続的なサンゴ礁のモニタリングが可能になることが期待されます。

- 「北限域の造礁サンゴ分布調査プロジェクト」ホームページ <http://sango.ows-npo.org/>
- 「日本全国みんなで作るサンゴマップ」ホームページ <http://www.sangomap.jp>

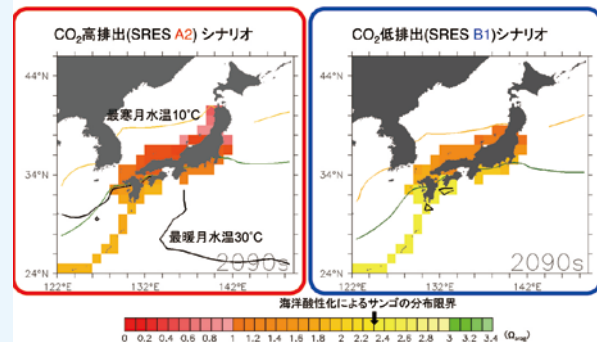


写真の解析によって、サンゴが2007年の白化によって1/3に減ってしまったことが明らかになりました(図6)。その後も白化の報告が多くなされ、2013年にも小規模ではありますが沖縄で白化が観察されています。こうした情報の収集には、市民参加型のモニタリング調査が大きな力を発揮します。

一方、海水温の上昇が続くと、造礁サンゴの分布が温帯へ拡大する可能性があります。日本全国規模で80年間にわたるサンゴ出現情報を元にデータベースを整備し、解析したところ、造礁サンゴ分布の北限に近い温帯の長崎県五島・対馬、千葉県館山などでは、海水温の高いところに生息する造礁サンゴが出現し、サンゴの分布北上が起きていることが確認されました。北上した4種類のサンゴのうち、2種は熱帯を代表する種でした。また、拡大速度は14km/年に達し、これまでに報告されている他の生物分布の北上あるいは拡大速度よりはるかに大きいことが明らかとなりました(図4)。

サンゴ礁の保全に向けて

データベースやモニタリングにより、サンゴの環境に対する耐性が明らかになり、気候変動がサンゴ礁に与える影響を、気候モデルの出力結果を用いて予測することができます。こうした予測結果は、将来に向けた気候変動対策の根拠となります。炭素循環を含む気候モデルによって出力された海水温及び海洋酸性化のデータを用いて、経済成長と地域主義を重視する多元社会シナリオ(SRES A2シナリオ)と持続的発展社会型社会シナリオ(SRES B1シナリオ)の下で将来の日本近海の潜在的なサンゴ分布可能域を予測しました。A2シナリオでは、海洋酸性化と高水温によって日本近海でサンゴの分布可能域が2070年代になく



■ 図7 サンゴ分布の将来予測

将来の日本近海の潜在的なサンゴ分布可能域を予測した結果を示しています。予測には、IPCC報告書に貢献した、炭素循環を含む4つの気候モデルを用いたシミュレーション結果を用いました。

なってしまうという結果が得られました。一方、B1シナリオでは、沖縄から九州・四国にかけてサンゴの分布可能域が100年後も維持されるという結果が得られ、二酸化炭素排出削減の効果が非常に大きいことが示されました(図7)。

保全に必要なのは気候変動対策だけではありません。白化後の回復過程をモニタリングデータで解析して地域を比較したところ、土砂流出のあるサンゴ礁では1998年の白化でサンゴが減少した後回復していないのに対し、土砂流出の無いサンゴ礁では回復が見られることが明らかになりました。このことは、二酸化炭素排出削減とともに、陸域からの土砂流入の負荷を減らすことが必要であることを示しています。サンゴ礁の保全のためには、陸域での対策が必要で、これは政策や地域の住民の方々と深く関わる問題です。自然科学だけでなく、社会科学などと連携した分野横断的なアプローチが必要です。

「日本全国みんなで作るサンゴマップ」ホームページ



2013年夏に投稿されたサンゴの白化報告の例



サンゴ礁の異変



世界では

世界では、サンゴ礁の異変が1980年代頃から注目されるようになりました。一つの大きなきっかけは1982年から1983年に起こったエルニーニョ現象で、水温上昇によってサンゴの白化現象が起こったのです。ここから、地球温暖化による水温上昇とサンゴとの関係についての議論が始まりました。その後、1997年から1998年にかけても世界中で水温が上昇し、大規模なサンゴの白化現象が起こり、議論は一気に加速しました。海洋酸性化に関しては、1999年に、気候モデルの出力結果を用いて、海洋酸性化がサンゴ礁へ及ぼす影響が深刻であるという予測が報告されました。これは生物への海洋酸性化の影響を警告した初めての研究で、その後の研究の大きな流れを作ることとなります。パプアニューギニアで火山活動によって海底から二酸化炭素が吹き出している場所が見つかり、そこではサンゴが生息していないという報告が2011年になされ、このまま二酸化炭素を排出し続けた場合の未来の海の状況を示すものとして注目を浴びました。

一方、カリブ海では、海藻を食べる魚を人間が乱獲することにより、海藻が急激に増え、サンゴの生息場所がなくなってしまうということが起こり、人間活動が与える影響の大きさが明らかになりました。その後、過去の報告書や論文からサンゴ分布のデータベースが作られ、カリブ海では、かつては海底の半分を覆っていたサンゴが、白化現象や乱獲の影響により、現在までにわずか5%まで縮小していることが実証されました。

サンゴ礁の保全是国際的に緊急の課題とされており、1995年にはサンゴ礁保全のための包括的国際プログラム「国際サンゴ礁イニシアティブ(ICRI)」が設立されました。ICRIの主要な活動の1つは、地球規模サンゴ礁モニタリングネットワーク(GCRMN)を構築することです。しかし、世界中のサンゴ礁は危機的状況にあり、すでにかつての2/3が失われていると

報告されています。サンゴをめぐる状況は深刻化する一方です。

日本では

日本のサンゴ礁研究の始まりは、戦前にまでさかのぼります。当時、南洋庁が置かれていたパラオには熱帯生物研究所があり、サンゴに共生する褐虫藻の研究など、世界に先駆けた研究がなされていました。また、パラオや日本各地からサンゴが採取され、サンゴ分布が調べられていました。戦争により領土を失って日本のサンゴ礁研究は一時縮小しましたが、その後の奄美・沖縄の復帰後に再開され、生物学的研究とともに、サンゴ礁を掘削して過去から現在にかけての海面の変動とサンゴ礁の形成に関する研究が盛んに行われるようになりました。

当時の日本のサンゴ礁の環境問題は、開発事業による土砂の流出と、サンゴを食べるオニヒトデの大発生でした。沖縄県では、1972年の日本復帰前後に、コメからサトウキビへの農作物の転換や土地開発事業が起こり、降雨により侵食された土砂が海へ流出し、サンゴ礁に悪影響を及ぼすことが深刻な問題になりました(p.9上段写真)。これを受けて沖縄県では1995年に赤土等流出防止条例が制定されました。これは大規模な土地改変などの工事には届け出が必要で、工事の際には、赤土の流出防止に対する対策を講じなければならないというものです。この条例のおかげで、工事による赤土の流出は減りましたが、農地からの流出は依然として続いています。そして、1998年夏の高水温による白化現象から、日本でもサンゴ礁と地球温暖化の関係についての議論が盛んに行われるようになりました。海洋酸性化に関しては、水槽での実験が始まるとともに、硫黄島でもパプアニューギニアと同様に二酸化炭素が海底から吹き出している場所が見つかり、やはりそこではサンゴが生息していないことが明らかになりました。

こうした背景を受けて、モニタリングや保全・再生

サンゴ礁が壊滅的な状況にさらされており、現在、世界のサンゴの3分の1が絶滅の危機にあるといわれています。環境の影響を受けやすいサンゴ礁の異変は、海にすむすべての生物が非常事態にあることを示すサインなのです。サンゴ礁を保全するために、世界や国内でさまざまなことが行われています。



に関する研究が日本でも進んでいます。沖縄県では、条例の施行された1995年から赤土などの流出量やサンゴが海底を覆っている度合いの経年変化を明らかにするために「赤土等汚染海域定点観測調査」が毎年実施されています。この調査では、沖縄本島全域において赤土等流出の影響を受けている河口付近に定点区画を17～20地点設置して、その中に生息するサンゴの種ごとの被度を記録しています。

環境省では、2003年から「重要生態系監視地域モニタリング推進事業(モニタリングサイト1000事業)」を開始しました。これは、「新(第二次)生物多様性国家戦略」にもとづいたもので、里山、湖沼、サンゴ礁など全国の様々なタイプの生態系に約1000カ所の調査サイトを設置し、100年以上を目標として長期継続してモニタリングするものです。これにより生物種の減少など、生態系の異変をいち早く捉え、迅速かつ適切な生態系および生物多様性の保全施策につなげることを目的としています。

また、環境省は2000年5月に国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターを設立しました。これは、東アジア海地域のサンゴ礁の管理や研究・モニタリング活動を担う拠点施設として、沖縄県石垣市に開設したものです。サンゴ礁に関する情報の収集や発信、モニタリング、保全に関する普及啓発などを行っています。ここでは、先に述べたICRIの活動の一環としてGCRMNというネットワークをつくり、中国、韓国を含む東アジアや東南アジア諸国と協力しながら、サンゴ礁保全を進めています。

国立環境研究所では

国立環境研究所では、過去から将来へのサンゴ礁の変化を明らかにし、変化要因を明らかにしてサンゴ礁の保全につなげる研究を行っています。p.10-11のサマリーで紹介した研究の他に、小型ボートにビデオカメラを搭載したサンゴのモニタリングシステムの開発や、水温上昇や海洋酸性化に対するサンゴの応答を、

現場でのモニタリングとともに、サンゴに共生する褐虫藻の分析や、水槽でサンゴを飼育する実験によって明らかにする研究も進めています。

また、沖縄県のモニタリングデータを解析し、地域規模のストレス(赤土流入)が白化からのサンゴの回復を妨げていることを明らかにしました。この結果を踏まえ、陸域からの赤土の流出を削減するための分野横断プロジェクトを開始しました。このプロジェクトでは、生物多様性と地域経済の両方を考慮し、効果的かつ実現可能な赤土などの流出対策を提言することを目的としています。この目的を達成するために、生態学、自然地理学、環境工学、環境経済学などの多岐にわたる分野の専門家がチームを組んで研究に取り組んでいます。

サンゴ礁は環境の変動の影響を最も受けやすい生態系の一つとされています。サンゴ礁の異変の察知やその原因究明、対策の実施など一連の活動は、行政をはじめ研究者や民間団体などさまざまな人々が連携して取り組む必要があります。今後もその連携を強め、サンゴ礁の保全に努めていきたいと思えます。



■ 図8 サンゴ礁のフィールド調査

国立環境研究所では、サンゴ分布のモニタリングを行っています。モニタリングでは、毎年、同じ地点で同じ区画のサンゴを定量的に調査しています。左の写真は、サンゴ礁の上に「コドラート」と呼ばれる、塩ビ管とタコ糸で作った1m四方の枠を置いて、水中カメラで撮影しているところです。写真と水中でのスケッチにより、サンゴの分布を記録します。過去に遡ってサンゴ礁の変化を調べるには、垂直方向のサンプル(コア)を分析する方法があります。右の写真は、コアを採取するために掘削しているところです。沖縄では、5m掘削すると、約6000年前のサンゴが採取できます。

国立環境研究所における 「サンゴ礁の保全に関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、サンゴ礁を保全するために、サンゴ礁の環境史やモニタリング、将来予測に関する研究を行っています。ここでは、その研究のあゆみを紹介します。

課題名 **サンゴ礁物理環境モデルの構築**
(1996～2001年度)

課題名 **サンゴ礁生物多様性保全地域の選定に関する研究**
(2003～2005年度)

課題名 **環礁州島からなる島嶼国の持続可能な国土の維持に関する研究**
(2003～2007年度)

課題名 **北限域に分布する造礁サンゴを用いた温暖化と
その影響の実態解明に関する研究**
(2008～2009年度)

課題名 **環礁上に成立する小島嶼国の地形変化と
水資源変化に対する適応策に関する研究**
(2008～2010年度)

課題名 **ストレスとサンゴ礁の歴史的変化**
(2008～2012年度)

課題名 **サンゴ礁生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測**
(2011年度～)

課題名 **大気・海洋モニタリング**
(2011年度～)

課題名 **沿岸海洋生態系に対する気候変動の複合影響評価研究**
(2012年度～)

課題名 **船舶観測による広域サンゴモニタリングに関する研究**
(2012年度～)

課題名 **生物多様性と地域経済を考慮した
亜熱帯島嶼環境保全策に関する研究**
(2013年度～)

本号で紹介した研究は、以下の機関、スタッフにより実施されました(所属は当時、敬称略、順不同)。

<研究担当者>

国立環境研究所：山野博哉、井上智美、角谷拓、杉原薫、浪崎直子、
本郷宙軌、屋良由美子、河地正伸、佐竹潔、島崎彦人、熊谷直喜、
林誠二、石原光則、松永恒雄、小熊宏之、石黒聡士、岡川梓、須賀
伸介、野尻幸宏、町田敏暢、田村正行、原島省
東京大学：茅根創、井上麻夕里
慶應義塾大学：山口徹
茨城大学：横木裕宗、桑原祐史、藤田昌史、佐藤大作
北海道大学：渡邊剛、山中康裕、藤井賢彦
お茶の水女子大学：棚橋訓、清本正人
総合地球環境学研究所：谷口真人、中田聡史
国土館大学：長谷川均
産業技術総合研究所：鈴木淳
九州大学：矢原徹一、野島哲、渡慶次睦範

海洋研究開発機構：白山義久
串本海中公園センター：野村恵一
黒潮生物研究財団：岩瀬文人、中地シュウ
京都大学：中北英一
海上技術安全研究所：篠野雅彦、今里元信
沖縄県衛生環境研究所：仲宗根一哉、金城孝一
長崎大学：堀江哲也
上智大学：日引聡
東京経済大学：深山直子
北星学園大学：野原克仁
WWF ジャパン：安村茂樹、権田雅之
NPO 法人 OWS：横山耕作、後藤健太郎

● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、サンゴ礁の保全に関連するものをいくつか紹介します。

No.43 藻類の系統保存 — 微細藻類と絶滅が危惧される藻類

藻類は光合成による有機物の生産者として地球上で重要な役割をはたしているほか、物質の循環や有用物質の生産などにも深くかかわっています。研究所の微生物系統保存施設（NIES コレクション）では、藻類を収集し、培養株として系統保存しています。本号では、わが国の藻類保存プロジェクトの中核機関である NIES コレクションについて紹介しています。

No.37 科学の目で見える生物多様性 — 空の目とミクロの目

地球上では多くの生物や生態系が存続の危機に瀕しています。今、何を守る努力が必要か、どうしたら守れるのかを、データに基づいて示すことが重要です。本号では、ミクロの目で迫る藻類の多様性の世界や、空からの撮影というマクロの目で迫る湿地生態系の空間的な構造の把握などの研究を紹介しています。

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

国際政治学や国際法学に基づく環境政策研究は、現実の国際社会における合意形成ときわめて密接な関係を持っています。研究所では、地球温暖化の影響評価と対策効果に関する研究プロジェクトにおいて、社会科学系の研究を重要なテーマとして位置づけてきました。本号では、気候変動枠組条約における国際制度の構築をめぐる研究について紹介しています。

No.19 最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」

研究所では、他機関との合同チームを結成して気候変動を再現する「気候モデル」を開発し、2100年までの地球温暖化の見通し計算を行うなどの成果を上げてきました。本号では、国際的な温暖化対策の取り決めにも影響を及ぼす、未来を予見する気候モデルについて紹介しています。

No.6 海の呼吸 — 北太平洋海洋表層の CO₂ 吸収に関する研究

海洋の炭素循環を明らかにしようとするとき、広大な海洋をどのように観測するかが最初の課題です。研究所では、貨物船を使って北太平洋での CO₂ 測定を行いました。本号では、その測定の実際と、延べ 38 往復の航海などで取得した豊富なデータの解析による成果を紹介しています。

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

研究所では、地球温暖化の影響・対策研究に取り組んでいます。本号では、アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル(AIM)を取り上げ、アジアと共に研究する姿を紹介しています。

環境儀 No.53

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2014年6月30日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当 WG: 玉置雅紀、山野博哉、亀山康子、内田昌男、近藤美則、滝村 朗)

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 国立環境研究所情報企画室 pub@nies.go.jp

編集協力 有限会社サイテック・コミュニケーションズ

無断転載を禁じます

リサイクル適性の表示：紙ヘリサイクル可

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.7 2003年 1月	バイオ・エコエンジニアリング—開発途上の水環境改善をめざして	No.30 2008年 10月	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
No.8 2003年 4月	黄砂研究最前線—科学的観測手法で黄砂の流れを遡る	No.31 2009年 1月	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
No.9 2003年 7月	湖沼のエコシステム—持続可能な利用と保全をめざして	No.32 2009年 4月	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
No.10 2003年 10月	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	No.33 2009年 7月	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
No.11 2004年 1月	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	No.34 2010年 3月	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
No.12 2004年 4月	東アジアの広域大気汚染—国境を越える酸性雨	No.35 2010年 1月	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～
No.13 2004年 7月	難分解性溶存有機物—湖沼環境研究の新展開	No.36 2010年 4月	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
No.14 2004年 10月	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	No.37 2010年 7月	科学の目で見える生物多様性—空の目とミクロの目
No.15 2005年 1月	干潟の生態系—その機能評価と類型化	No.38 2010年 10月	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
No.16 2005年 4月	長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方	No.39 2011年 1月	「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
No.17 2005年 7月	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	No.40 2011年 3月	VOCと地球環境—大気中揮発性有機化合物の実態解明を目指して
No.18 2005年 10月	外来生物による生物多様性への影響を探る	No.41 2011年 7月	宇宙から地球の息吹を探る—炭素循環の解明を目指して
No.19 2006年 1月	最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」	No.42 2011年 10月	環境研究 for Asia/in Asia/with Asia — 持続可能なアジアに向けて
No.20 2006年 4月	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方法	No.43 2012年 1月	藻類の系統保存—微細藻類と絶滅が危惧される藻類
No.21 2006年 7月	中国の都市大気汚染と健康影響	No.44 2012年 4月	試験管内生命で環境汚染を視る—環境毒性の <i>in vitro</i> バイオアッセイ
No.22 2006年 10月	微小粒子の健康影響—アレルギーと循環機能	No.45 2012年 7月	干潟の生き物のはたらきを探る—浅海域の環境変動が生物に及ぼす影響
No.23 2007年 1月	地球規模の海洋汚染—観測と実態	No.46 2012年 10月	ナノ粒子・ナノマテリアルの生体への影響—分子サイズにまで小さくなった超微小粒子と生体との反応
No.24 2007年 4月	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	No.47 2013年 1月	化学物質の形から毒性を予測する—計算化学によるアプローチ
No.25 2007年 7月	環境知覚研究の勧め—好ましい環境をめざして	No.48 2013年 4月	環境スペシメンバンキング—環境の今を封じ込め未来に伝えるパトシリレー
No.26 2007年 10月	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	No.49 2013年 7月	東日本大震災—環境研究者はいかに取り組むか
No.27 2008年 1月	アレルギー性疾患への環境化学物質の影響	No.50 2013年 10月	環境多媒体モデル—大気・水・土壌をめぐる有害化学物質の可視化
No.28 2008年 4月	森の息づかいを測る—森林生態系のCO ₂ フラックス観測研究	No.51 2014年 1月	旅客機を使って大気を測る—国際線で世界をカバー
No.29 2008年 7月	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	No.52 2014年 4月	アオコの有毒物質を探る—構造解析と分析法の開発

●環境儀のバックナンバーは、国立環境研究所のホームページでご覧になれます。
<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

「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O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する動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。