



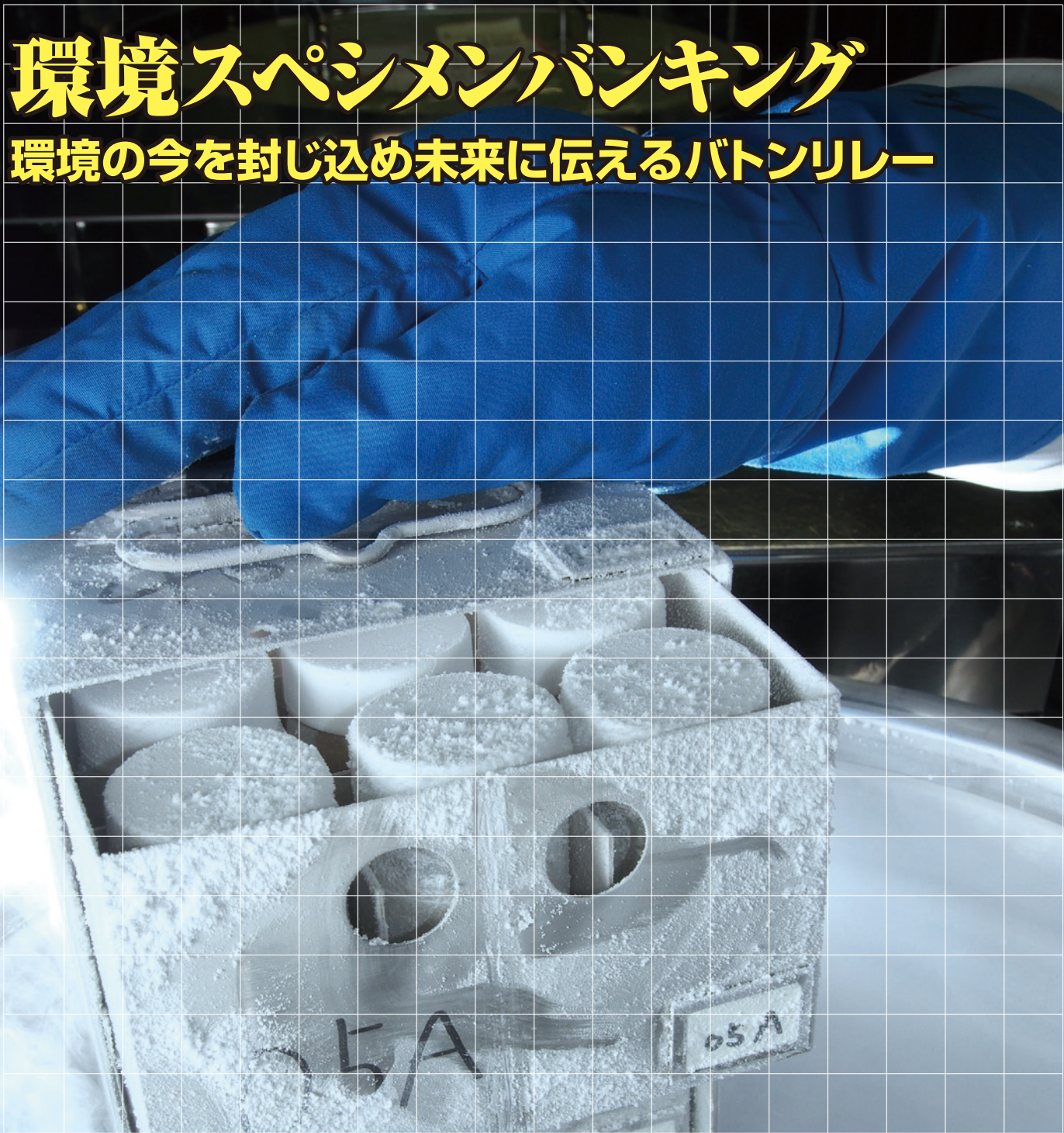
環境儀

NO. 48 APRIL 2013

国立環境研究所の研究情報誌

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バトンリレー



独立行政法人

国立環境研究所

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





身の回りの環境を絶えず監視して
必要な警告を早く出せるよう、
様々な環境モニタリング活動が行われています。
今回はそれを補う事業として、
環境試料を長期に保存して
見逃しの有無の確認や対策効果の検証を可能とする
環境スペシメンバンキングをご紹介します。

国立環境研究所には、環境試料タイムカプセル棟と呼ばれる建物があります。2004年に完成した2階建ての比較的新しい実験棟で、中に入るとガラスの向こうに銀色に輝く巨大なタンクがずらりと並んでいるのが目を引きまします。ガラス越しにしばらく眺めていると、白衣に身を包んだ人が現れてタンクの蓋をあけ、あたりに立ち込めるもやの中で凍結試料を出し入れするところを目撃できるかもしれません。銀色の配管で結ばれた、SF映画に出てきそうな不思議なタンクの列、これが環境の今の状態を記録する様々な試料を長期に保存し、未来に伝える「環境スペシメンバンク」、またの名を「環境試料タイムカプセル」と呼ばれる施設なのです。自動供給される液体窒素で冷やされたタンクの中には、日本各地から集められた二枚貝が細かく砕かれ均質にされて保存されています。また、市民参加型の新しい環境モニタリング並びに試料収集プログラムとして、トンボの収集、保存なども進められています。

地味で気の長い事業ですが、その意義と重要性が認められて、環境スペシメンバンキングは国際条約にも位置づけられることとなりました。本号は事業の一端をご紹介します。



C O N T E N T S

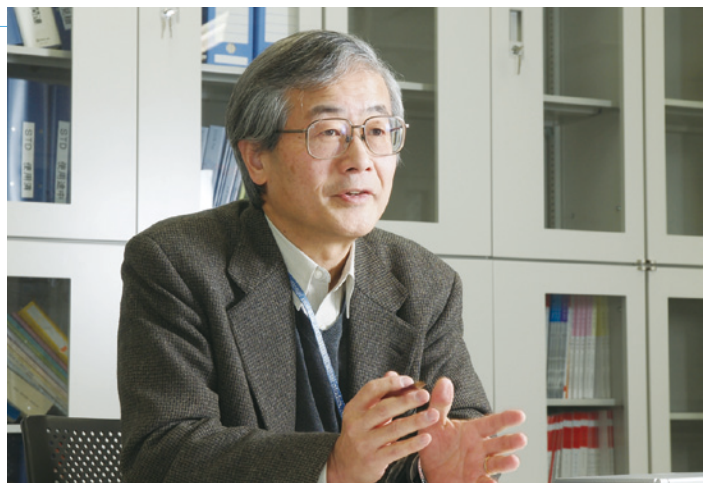
環境スペシメンバンキング

環境の今を封じ込め未来に伝えるバトンリレー

- Interview
研究者に聞く p4 ~ 9
- Summary
環境モニタリングを補完する
環境スペシメンバンキング p10 ~ 11
- 研究をめぐって
環境スペシメンバンキング
をめぐり動き p12 ~ 13
- 「国立環境研究所における
スペシメンバンキングに
関する研究」のあゆみ p14

Interview 研究者に聞く

国立環境研究所では環境の状態を監視し、必要に応じて警告を発したり、解決に向けた研究を進めたりしています。また、将来起こるかもしれない環境問題や新たな汚染に備えて、様々な環境試料を長期保存しています。この研究に取り組んでいる環境計測研究センター上級主席研究員の柴田康行さんに、研究の意義や成果などについてうかがいました。



柴田康行 / 環境計測研究センター・上級主席研究員

環境の今を封じ込め、未来に伝える

環境試料を長期に保存する理由

Q: 環境スペシメンバンキングとは、どんな活動ですか。

柴田: 環境試料 (Environmental Specimen) を銀行 (Bank) のように長期に保存することから、英語の発音をそのまま文字にして、施設を「環境スペシメンバンク」、保存活動を「環境スペシメンバンキング」といいます。私たちは環境の状態を把握し、監視するために、試料を集めて分析しています。その一部を保存し、将来のより進んだ科学技術で過去の分析結果の検証や対策の効果を確認し、新たな情報を引き出すことが目的です。現在の環境の状態を封じ込め、未来に伝えるという意味をこめて、国立環境研究所のスペシメンバ

ンクを「環境試料タイムカプセル」と呼んでいます。

Q: なぜ、試料を長期保存する必要があるのですか。

柴田: 科学技術が進歩し、経済が発展する一方、20世紀の後半になると重金属や化学物質による環境汚染が大きな社会問題になりました。PCB (ポリ塩化ビフェニル) やダイオキシンなど問題になった化学物質は、対策を講じるとともに環境モニタリングを精力的に進めています。また、前回の環境儀で紹介したように、製造・使用前の毒性チェック体制の研究も進んでいます。しかし、数万種類もの化学物質の中には、まだ気づかれない毒性をもつもの、発がん物質や内分泌かく乱化学物質のように、曝露されてから影響が現れるまでに長い時間がかかるものが含まれている可能性があります。このようなことも考えて、試料を保存し、

■図1 試料の保存温度

生物試料や底質試料などを変質させないように注意しながら、数十年もの長い間、安定に保存するためには、できるだけ低い温度で光や酸素による作用をおさえて保存することが重要です。動物の体はたくさん水を含んでいます。純粋な水なら0℃で凍りますが、タンパク質などの生体分子に接する水は-20℃でも凍らないため、長い間には変質が避けられません。-60℃前後まで下げると塩やタンパク質などを含んだ水もほぼ凍り、変質も起こりにくくなるので、マグロなどを長期保存する冷凍倉庫にはこの温度帯が使われます。理論的には、氷の結晶構造が相転移を起こす最低温度である-135℃より低い温度がもっともふさわしいといえます。タイムカプセル棟では、液体窒素で冷やされた上部の空間 (-160℃) で、光も酸素も遮断した状態で均質化した生物試料を長期的に保存するとともに、マグロの冷凍倉庫と同じ-60℃で生物丸ごとや底質を保存する体制をとっています。





環境スペシメンバンキングを担当する「タイムカプセルチーム」

将来にわたってその影響を監視することが大事です。

Q：時間がたてば状況も変わるでしょうね。

柴田：分析技術は格段に進歩し、毒性情報も増えます。過去の試料を保存しておけば、以前に見逃した細かい汚染の状況を知ることができ、生物への影響もよりの確に評価できます。新しい問題が起こったときに、遡って過去の状況を知ることでもできます。これまでの規制や対策の効果を、将来の進んだ科学技術で検証し、改良すべき点を見出すことにも役立つでしょう。

Q：スペシメンバンキングは環境モニタリングのよいバックアップということですね。

柴田：そうです。スペシメンバンキングは環境モニタリングを補強する役割を果たしています。難しいのは、科学技術が進歩した将来に役立つように、どのような

試料を集め、どのように保存しておくかです。スペシメンバンクも増えてきましたが、クジラやアザラシからミミズや木の葉まで、特色ある試料を集めています。

Q：国立環境研究所では、いつからスペシメンバンキングを行っているのですか。

柴田：1979年からで、もう30年以上続いています。私が研究所に入所したのは1982年で、その後いろいろな研究者と一緒にスペシメンバンキングに関わっています。研究を始めた頃は、ドイツや米国などの先行研究を参考にした模索が続きました。2002年に環境試料と絶滅危惧生物の遺伝資源を保存する環境試料タイムカプセル化事業が始まり、タイムカプセル棟が2004年に完成して転機を迎えました。

タイムカプセル棟の完成で 長期保存が本格的に

Q：サンプルはどのくらいの期間、保存するのですか。

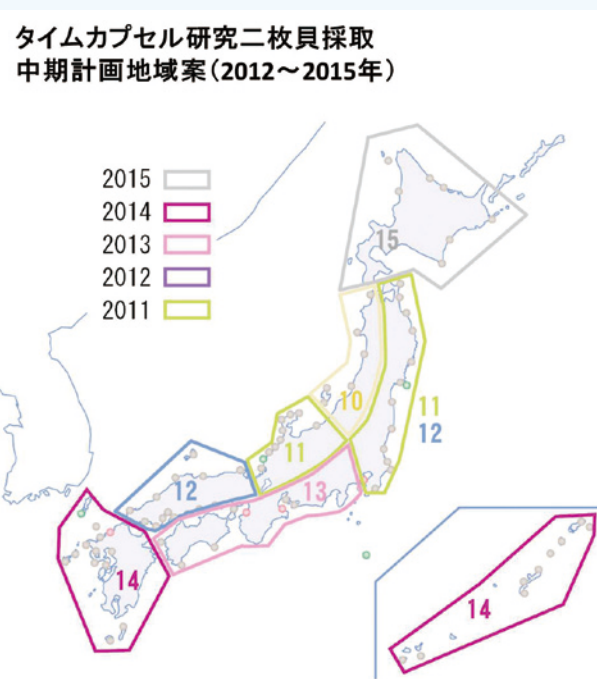
柴田：人の二世代に相当する数十年間保存することを目的として、保存施設をデザインしました。

Q：ずいぶん長期ですね。

柴田：発がん物質には、影響が出るまでに長い場合で30~40年かかるものも知られています。内分泌かく乱化学物質では、胎児期や赤ん坊の時の曝露の影響が大人になって現れる場合もありました。さらに化学物質の二世代後への影響も懸念され、試験法が開発されたことが背景にあります。長期間、試料を安定に保存するために、低温でかつ光や酸素のない条件が求められます。タイムカプセル棟では液体窒素を底にため

■ 図2 二枚貝の採取地点

環境試料タイムカプセルでは、全国の海岸に沿ってほぼ数十~百km間隔に二枚貝の採取地点を設置して、全国の沿岸環境の状態を細かく調べていく体制を整えています。2010年度までは、人口密集地と遠隔地あわせて10地点程度を選んで毎年採取を行う定点採取地点とし、残りは地域を移動しながら数年かけて全国を一周してカバーする体制をとっていました。2011年度からは定点をやめて全国を図のように6ブロックにわけ、毎年地域をかえて調査する体制に整理する一方、震災影響研究の中で東日本太平洋側の沿岸調査を毎年行い、あわせて試料を保存しています。



た大きな金属製断熱容器の中で試料を保存しています（表紙裏写真）。容器内は窒素ガスが充満し、 -160°C に維持されています。そこに均質化した試料を保存します。また、 -60°C の大型の冷凍室が2室あり、丸ごとの生物試料や大気粉じんなどを保存しています（図1）。

Q：保存試料の管理は大変ですか。

柴田：データベースを作成し、試料採取や処理条件などの情報とともに試料を管理しています。それぞれの保存施設には、温度や液体窒素の量を常にモニターし、液体窒素を自動で補充したり、異常を検知すると警報を出したりする装置がついています。ほとんどの冷却タンクでは、底にたまった液体窒素がなくなるまで試料は低温に保たれるので、万一停電などで液体窒素を補充できなくても2週間くらいは大丈夫です。実際、2011年3月の東日本大震災でも失われた試料はなく、ほっとしました。

Q：どんな試料を保存しているのですか。

柴田：食物連鎖を通じて野生生物に蓄積した化学物質を調べる「生物モニタリング」（解説参照）に基づき、日本各地の沿岸のムラサキガイなどの二枚貝を系統的に収集しています。生物にこだわるのは、化学物質の影響が懸念される野生生物において蓄積の様子を知ることが重要であり、環境中の化学物質が体内で濃縮されるので保存試料が少量ですむためです。

さらに、将来の科学技術の進歩によって、化学物質の濃度ばかりでなく遺伝子発現や生体分子を調べることで、その生物が受けた影響（環境ストレス）をより的確に把握し、評価できることも期待されます。



サンプリングの様子

Q：二枚貝がモニタリングの指標になるのですか。

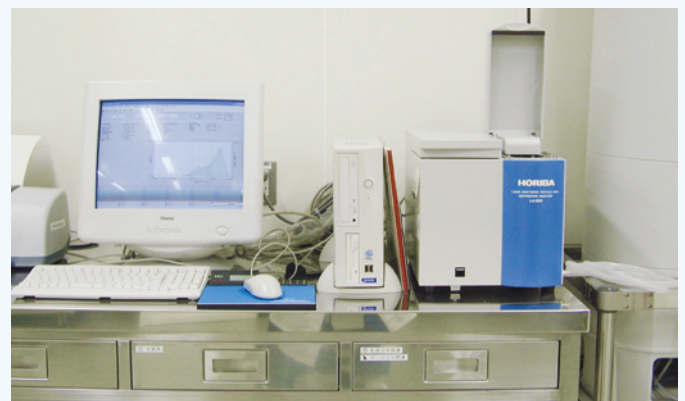
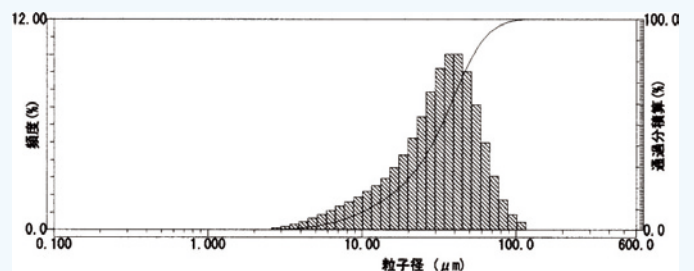
柴田：ムラサキガイは日本やヨーロッパ、アメリカなど世界の工業国の沿岸に広く分布し、体内の化学物質の量を調べると汚染状況の相互比較ができるので、沿岸海洋汚染監視の指標生物になっています（解説参照）。なお、ムラサキガイのいない亜熱帯、熱帯域ではカキやミドリイガイが指標生物です。

Q：二枚貝はどこでサンプリングするのですか。

柴田：東京などの人口密集地と汚染源から離れた離島などのバックグラウンド地で毎年サンプリングします。さらに、場所を移動しながら数年間で日本全体をカバーする体制をとっています（図2）。タイムカプセル事業が始まってから、現在までに日本列島を1周半回りました。それ以前にも1980年代と90年代に、

■ 図3 凍結粉碎試料の粒子サイズ分布（上）と粒子サイズ測定器（下）

試料はできるだけ小さい粒子に粉碎してよく混ぜ合わせ、均質にすることが大切です。粒子の一粒一粒の濃度のばらつきが結果に影響を与えるので、粒子のサイズが粗いと、それだけたくさんの量の試料を分析しなければ平均的な濃度がわからないことになります。環境試料タイムカプセルでは、保存するために凍結粉碎した試料の粒子の平均粒子サイズが $100\mu\text{m}$ (0.1mm)以下になるよう、粗粉碎と微粉碎の2段階の粉碎作業を行い、微粉碎後の試料の粒子サイズの分布（粒径分布）をレーザーを使った粒度計で測定しています。さらに、小分けしたあとの試料ビンから一部の試料をとってその中の重金属濃度を測定し、ビン同士ならびに同じビン内の分析値のばらつきが数%程度に収まることを確認しています。





粗い粉碎



遊星ボールミル



粉碎前



粉碎後

二枚貝（ムラサキガイ）の粉碎

日本各地の二枚貝を採取し、保存しました。

手間のかかる試料の調製

Q：試料をどのように調製して保存していますか。

柴田：二枚貝の身の部分を均質化し、その一部を50mLのガラス容器に小分けして保存しています。二枚貝を採取すると、その場ですぐにむき身にして液体窒素で凍らせます。そのため、試料採取の現場まで液体窒素を持っていき、試料を凍らせたまま研究所まで運びます。さらに試料を凍結したまま粉碎して均質化し、その一部を保存します。このように面倒な作業を行うのは、採取して時間がたつと代謝や排せつで体内の汚染物質濃度が変わる恐れがあること、一度凍らせ



た生物試料を再び溶かすと組織が壊れて酵素が働き、生体成分が変化してしまうおそれがあるからです。将来、今測れない項目まで測定するためには、試料をできるだけ変化させずに、保存する必要があります。その手法や体制を作ること自体が研究課題となります。

Q：粉碎するのはなぜですか。

柴田：多数の試料を均質にすれば代表性を持たすことができるので一部を保存するだけで済み、限られた保存スペースを有効に活用できます。細かい粒子になればなるほど少量でも均質性が保たれるので、試料の粒径を数十 μm 程度に揃えます(図3)。化学物質の影響は、特定の臓器や組織に特異的に表れたり、生物の形態変化として表れたりする場合もあるので、一部は均質化せず丸ごと -60°C で保存します。

Q：粉碎は、どんな器具を使うのですか。

柴田：最初に液体窒素で冷やした金属チタン製の器の中で、粗く砕いたあと、遊星ボールミルという装置で細かく粉碎します。凍った生物試料は硬く、また粉碎容器も重いので、粉碎作業は重労働です。たとえ金属製でも、容器が削られて金属くずが試料に混入することは避けられません。そのため重金属の分析を妨害しない、チタン製で統一しています。また、試料が汚染するのを避けるために、クリーンルームで作業するなど細心の注意を払っています。

さらに、定期的に超純水を凍らせて、同じ粉碎作業を行い、汚染の有無を確認しています。純水氷の粉末の一部は試料と一緒に保存し、将来測定するときには粉碎過程で汚染がなかったことを確認できるようにしています。

解説：指標生物を使った生物モニタリング

一般に、環境の状態をそこに生活する野生生物に基づいて評価したり監視したりすることを生物モニタリング、そのために選ばれる野生生物を指標生物と呼びます。環境汚染のモニタリングでは、生物が食物連鎖等を通じて化学物質や重金属類を体内に蓄積する性質を利用しています。どのくらいの倍率まで濃縮して蓄積するかは生物の種類によっても異なり、汚染監視の環境モニタリングでは、監視をしたい場所に広く分布していて数が多く、採取も容易で濃縮率も高く、分析に適した種類を指標生物として選びます。

指標生物を大きく分けると、短寿命で食物連鎖の比較的低い段階に位置し濃縮率はあまり高くないものの毎年環境変化の監視に適したグループと、寿命が長く食物連鎖の高位に位置して環境残留性、生物蓄積性の高い物質の監視に適したグループの2つがあります。前者の例として

は、岩場や岸壁などに多いムラサキガイがあげられます。ほかにスズキやアイナメ等の魚類、陸上では木の葉やミミズ、ネズミ、タヌキなども利用されています。

一方、後者の例では、肉食性の長寿命生物として海棲哺乳類(アザラシなど)や魚食性の鳥類(カワウやウミネコ、海外ではアジサシやミヤコドリの間等)並びにその卵などが使われています。米国では陸に乗り上げて死んだクジラが見つかったと、その油脂などを回収・保存する事業もあります。

ちなみに、現在、日本の沿岸の多くの場所でみられるムラサキガイは、1930年前後にヨーロッパから船に付着して渡来した外来種だといわれており、ムラサキガイ(Mussel)を用いた沿岸海洋モニタリング Mussel Watch は日本のみならず世界の沿岸域の汚染の状況を相互に比較可能な手法として多くの結果が報告されています。

化学物質汚染の過去を明らかにする

Q：今までどんな化学物質を分析しましたか。

柴田：重金属に加え、PCBやDDT、ダイオキシン、ベンゾピレンなど多くの有機化合物を分析しました。最近では、新たな汚染物質として注目されるペルフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)などの有機フッ素化合物を分析しています。

Q：保存試料からどんなことがわかりましたか。

柴田：船底塗料に使われていた有機スズ化合物は沿岸生物に毒性が強く、2001年に規制のための国際条約が締結されました。国内では1990年前後に自主的な取り組みや監督省庁からの指導が進み、濃度レベルが下がったことが期待されましたが、従来の分析法では感度が低く検証が十分にできませんでした。その後、新たに開発された高感度分析法で、保存試料を再分析したところ、1990年頃を境に有機スズの濃度が減少しており、自主取り組みや指導の効果を確かめました(図4)。それから1997年のナホトカ号重油汚染事故を覚えていますか？

Q：タンカーが沈没し、北陸沿岸が重油で広く汚染され、多くの人々がボランティアで回収や除染作業をした事件ですね。

柴田：その地域の汚染調査も行っています。沿岸の二枚貝中の汚染物質の濃度を定期的に測定したところ、事故後数年でほぼ事故前のレベルにまで戻っていることがわかりました(図5)。過去の保存試料と比較することで、汚染がどれくらい深刻なのか、除染などで環境が修復したのかを確認できます。



凍結試料の調製

Q：その他どんな成果が得られましたか。

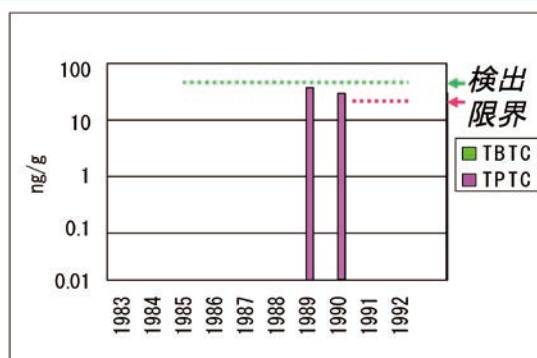
柴田：タンチョウの死因調査の際も、ほかの機関に保存されていた試料が対策に役立ちました。北海道で見つかったタンチョウの死がいの調査を依頼され、分析した結果、ある農薬の蓄積が高濃度に見つかり、農薬中毒死と判断しました。これをうけて釧路に保存されていた死因不明のタンチョウ試料を北海道の研究機関で分析した結果、さらに2体から同じ農薬が見つかり、同様の事故が過去にもあった可能性が高まりました。これがきっかけで、この農薬の使用制限がさらに徹底されました。

今は東日本大震災の環境影響を調べるために、東日

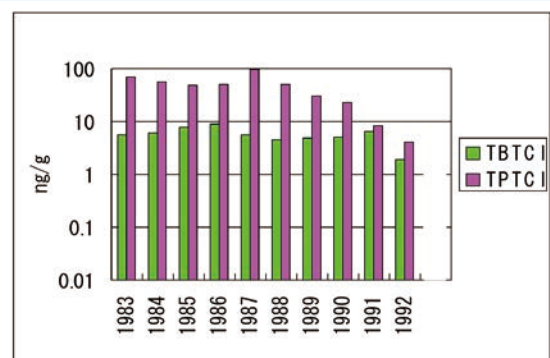
■ 図4 新たな分析手法による保存試料の再分析

環境省が毎年行っている「化学物質環境実態調査」では、東京湾ウミネコ(1982年から採取)の胸筋中の有機スズ(トリブチルスズTBTおよびトリフェニルスズTPT)濃度を、それぞれ1985年並びに1989年から分析しています。残念ながら従来の分析方法(GC/FPD)では感度が足りず、1989年と1990年のTPTを除いて有機スズを検出できなかったため、その変化の様子がわかりませんでした(左図：矢印はTBT(緑)な

いしTPT(ピンク)の検出限界を示す)。新たな高感度な分析方法(GC/AED)で保存試料を再測定した結果、いずれも1980年代前半から後半にかけてほぼ一定の濃度で推移し、1990年頃を境に濃度が低下し、規制の効果が上がっていたことが確認できました(右図)。なお、縦軸は試料中の有機スズ濃度で、対数軸で表されています。



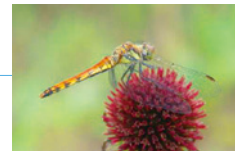
従来的な分析手法: GC/FPD



新たな高感度分析手法: GC/AED



試料の凍結保存作業



Q：トンボも保存しているのですか。

柴田：幸い多くの市民の方々にご協力いただき、全国各地のトンボを送っていただきました。「環境の監視のため」と協力をお願いしたところ、以前に環境汚染が問題となった場所の近くや山間部のごみ埋め立て処分場のそばにわざわざ出かけて採取して下さる方もあり、市民の皆さんの環境問題に対する意識の高さを改めて感じました。トンボプロジェクトでは地方自治体研究者ともネットワークを作り、試料を収集していますが、市民の皆さんのおかげで、濃度の高い地点や発生源の情報を自治体研究者と共有できました。たくさんの試料をお送りいただき、思ったより分析に時間がかかっていますが、早く測定結果をみなさんにお返しできるように、頑張っています。

Q：スペシメンバンキングには、さまざまな意義がありますね。

柴田：スペシメンバンキングは環境モニタリングを補完する重要な活動です。ストックホルム条約という化学物質対策に関わる国際条約でも意義が認められ、条約を支える事業の一つとして位置づけられました（「研究をめぐって」参照）。保存試料の活用例には、遺伝子配列の解析による生物進化の研究など、予想もしなかったものもありました。汚染監視だけでなく、環境研究の推進に役立つ基盤的な意義も持たせることができます。

スペシメンバンキングの推進には多くの作業が必要な上、さまざまな協力も欠かせません。こうした地道な活動を世代をこえて伝えていくことの重要性をもっとアピールしなければと思っています。

本太平洋側の過去の採取地点と同じところで二枚貝の採取を実施し、各種汚染物質も分析しています。

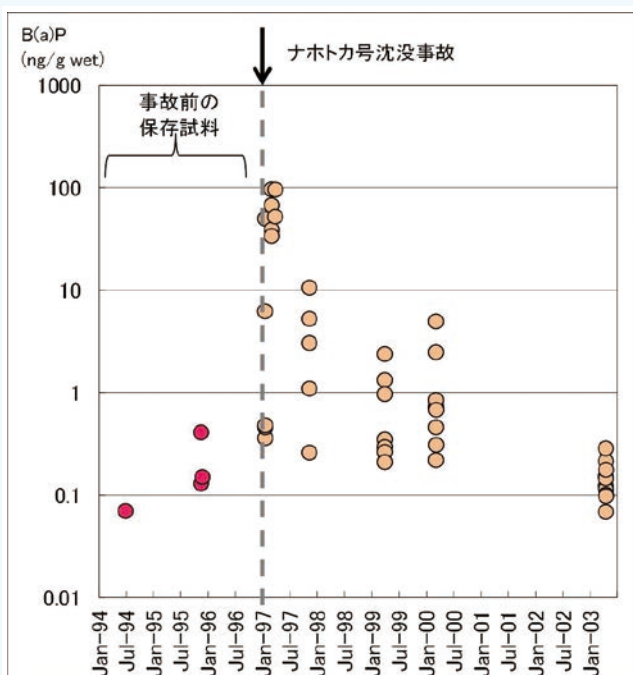
スペシメンバンキングの将来

Q：保存試料がさまざまに活用されているのですね。

柴田：監視の対象を沿岸から陸域まで広げることも課題です。二枚貝や魚では陸上の環境を監視できないため、トンボによる陸域環境モニタリングを検討し、この結果をもとに、全国各地のトンボを捕まえて化学物質の環境レベルを調べる「トンボプロジェクト」を行っています（コラム参照）。

■ 図5 重油汚染事故のフォローアップ

1997年に日本海側で起きた重油汚染事故の際には、福井県から石川県にかけての沿岸で二枚貝や水などの採取と分析を行いました。事故後の経過を監視するため、二枚貝の採取と分析をその後数年間継続して行いました。ナホトカ号の重油に含まれる特徴的な成分のパターンを手掛かりとし、特に二枚貝中のベンゾピレン濃度に着目して分析を継続した結果を図に示します。横軸は採取年月日、縦軸はその時とった沿岸各地点の二枚貝中ベンゾピレン濃度を対数軸であらわしています。事故直後はかなり高かったベンゾピレンの濃度は、その後数年の間に次第に下がっていきました。幸い、事故前に近くで二枚貝を採取し保存しており、その分析から事故前の濃度が0.1ng/g程度であったことがわかりました。この結果から、2003年には生体影響が懸念されるベンゾピレン濃度がほぼ事故前に戻ったことがわかります。



環境モニタリングを補完する 環境スペシメンバンキング

環境のモニタリングと スペシメンバンキング

人間活動による地球規模の環境悪化を懸念し、その科学的な理解の推進と早期の警告発信を目指して長期的・継続的な環境モニタリングシステム構築の必要性を指摘した報告が、国際科学会議 ICSU の下部組織である SCOPE によって 1973 年にまとめられました。

この報告では、モニタリングシステムを支える重要な柱の一つとして環境試料長期保存事業スペシメンバンキングが位置づけられており、ここでの基本的な考え方に従って国立環境研究所(当時は国立公害研究所)のスペシメンバンキングがスタートしています。

対象とする環境試料と保存方法

当初は、水(雨水、湖沼水等)、湖沼底質、植物、動物、人試料など様々な種類の試料についてその保存方法等の検討が行われるとともに、保存条件(保存温度並びに酸素の有無)と物質の安定性に係る試験なども行われました。比較的安定なベンゾピレンなどは -20°C で保存すれば数年後にもほとんど変化が認められませんでした。発がん物質のニトロソアミンは同じ条件でも 1 年後には大きく減少するなど、物質によって保存性に大きな差のあることがわかりました。

一方、 -20°C でも 10 年単位で保存を続けると、生

物試料の中の水が次第に蒸発して乾燥していくとともに試料が変質して臭いも強くなっていく傾向があります。 -20°C では生物試料中のタンパク質のまわりの水分子は完全に凍らないため、分解酵素などの活性を完全には止められないことがその原因と考えられます。



春のタイムカプセル棟

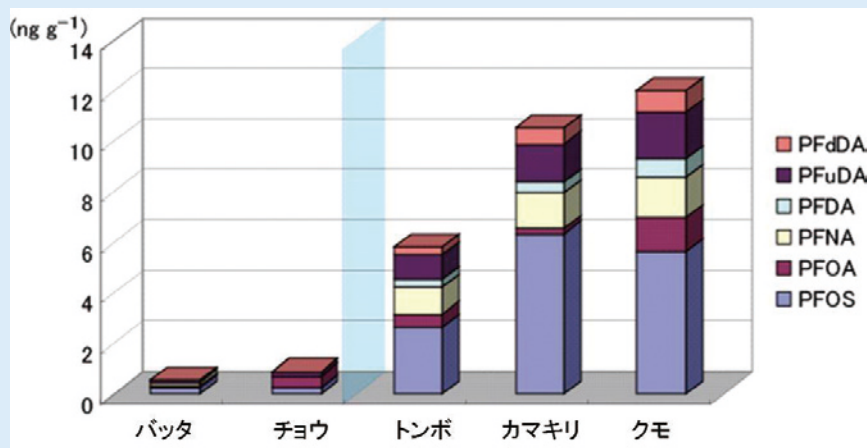
こうした経験に基づき、環境試料タイムカプセル棟では、 -160°C という極めて低い温度で酸素のない窒素ガスだけの中で保存ができ、停電などの異常事態にも強い液体窒素気相保存と呼ばれる方法で生物試料を長期的に保存するとともに、それ以外の試料も -60°C の大型冷凍室で長期安定して保存できる体制をとることにしました。

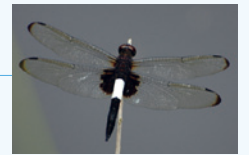
分析項目と分析法の進歩

環境モニタリングで分析対象となる化学物質の種類は、近年急速に増えてきています。人間が意図して、あるいは副生成物として作り出す化学物質は数万種類

■ 図 6 昆虫やクモに蓄積された
フッ素系界面活性剤の濃度比較

植物を食べるバッタや花の蜜を吸うチョウの濃度は低いのにに対し、ほかの昆虫を食べる生物(トンボ、カマキリ、クモ)では PFOS をはじめフッ素系界面活性剤の濃度が高いことがわかりました。なかでもトンボはあちこち飛び回るので、広い範囲の調査に適しています。(吉兼ほか、第 16 回環境化学討論会(2007)より改変)





にもものぼるとされていますが、これらの中で懸念される有害性が見つかったり、環境残留性、生物蓄積性などが高いことから、環境モニタリングの監視対象とされる物質が増えています。特にダイオキシン類などは毒性が強いことから極めて低い濃度まで分析をおこなう必要があり、高分解能GC/MSと略称される高価な大型分析装置を使って煩雑な前処理操作を行って測定する、高度な分析技術が進歩してきました。

一方、この方法では対象物質(たとえばダイオキシン)を極めて高感度に正確に測れるものの、他の物質は存在していても見えず、濃度を知るには前処理操作から全部やり直さなければなりません。監視対象が今後ますます増えると予想されること、まだ見逃している汚染物質があるかもしれないことを考えると、多種類の物質を感度、精度よく一斉に測定できるような新しい分析方法が求められます。

国立環境研究所では、こうした将来の要請にこたえられるように、環境試料の保存を行う一方で、多種類の化学物質を前処理せずに一斉に分離し、検出できる「多次元ガスクロマトグラフ-飛行時間型質量分析計」と呼ばれる新しい分析手法の開発を行っています。

スペシメンバンキングの課題

液体窒素を利用することで、原理的には理想条件に近いすぐれた保存環境を整えることができた環境試料タイムカプセル事業ですが、まだ改良すべき課題が残されています。一般的な致死毒性や発がん作用以外にも、内分泌系や神経系、免疫系への影響、行動影響、世代を超えた影響など、様々な化学物質の健康影響が明らかになり、これまで日常的に使われてきた化学物

質の中にも監視の対象となるものが増えてきました。

特徴的な事例がストックホルム条約に見られます。2001年に締結されたときには、PCBやDDTなど過去に使われたものの多くの国ですでに規制の対象となり削減されている物質が対象となっていました。しかしながら、その後条約に追加された10物質の中には、臭素系難燃剤やフッ素系界面活性剤など、最近まで製造され、現在でも身の回りにある可能性のある物質が含まれています。これらの物質は、例えば実験室の壁や機材の材質として、あるいは衣服や靴の材質としても使われている可能性があり、試料を凍結して粉碎したり、分析作業をしたりする間に、試料の中に誤って混入してしまう恐れが高い物質です。内分泌かく乱化学物質問題でも同じ状況が起きるので、新築の実験室ではなくわざわざ古い木造やタイル張りの建物を探して実験が行われることもありました。また海外では、試料調製中の重金属の混入を避けるためにフッ素樹脂製の粉碎装置を使っていたところ、近年汚染が目立つようになったフッ素系界面活性剤が樹脂に含まれていて、粉碎中の試料に混入してしまう恐れがあったために、せっかくの保存試料が活かせなかった例も報告されています。こうした過去の経験に基づき、できるだけ処理中の汚染の恐れが少ない方法を開発し、また汚染の有無が確認できるような方法をとっていますが、今後も新たな懸念物質の情報に絶えず注意しながら、保存までの方法も必要に応じて改良していく必要があります。また、生物側の変化(汚染物質等の曝露に対する特異的な応答や健康影響の指標となる物質、遺伝子発現状態などの変化)を分析して、健康状態などを評価できる手法の開発とそのための保存法の検討も大きな課題と考えられます。

コラム：トンボを使った 環境モニタリング (トンボプロジェクト)

沿岸の環境モニタリングに使われる二枚貝 Mussel のように、手軽に全国規模で陸上のモニタリングを行なう生物を見出すことは、2002年から始まった環境試料タイムカプセル化事業の課題の一つでした。肉食性の昆虫や昆虫を捕食するクモやトカゲに PFOS などの有機フッ素系界面活性剤が比較的高いレベルで蓄積していることがわかったことが、この研究をはじめたきっかけです。特に、様々な場所に広く分布していて数も多く、飛び回って広い範囲の環境を監視でき、捕まえやすいトンボを



選んでモニタリング手法の検討を進めました。ヤゴから羽化した直後のトンボに印をつけて放し、数日~数週間たってから再度捕まえて、蓄積濃度が時間とともにどう変化するかも調べてみました。当然ですが、一度放したトンボをもう一度見つけて捕まえるのは難しく、たくさんのトンボに印をつけて放す必要があります。そこで、近くの小学校の協力を得て、プール掃除のときに大量のヤゴをもらい、研究所の実験池に放して毎日毎日羽化したトンボに印をつけては放し、時間をおいてまた追いかけて作業もしました。こうしていろいろ調べた結果、シオカラトンボやノシメトンボなど、全国に普通にいたるトンボの成熟したオス同士を比較して、各地の汚染状況の概要を把握できることがわかりました。この結果をもとに、研究者や愛好家のネットワークや一般市民への呼びかけを通じて全国各地でトンボを捕まえて保存するとともに、化学物質の環境レベルを調べる「トンボプロジェクト」を進めています。



環境スペシメンバンキングをめぐる動き



世界では

スペシメンバンキングは欧米先進国を中心に長い歴史を持っています。スウェーデンでは自然史博物館に保存されていた鳥のはく製の羽毛から、農業に由来する過去の水銀汚染の歴史と鳥類減少との因果関係が明らかになったことがきっかけで、40数年前からスペシメンバンキングが始まりました。博物館の展示品や標本収集活動と汚染分析用試料収集・保存活動が一体となった、ユニークな活動を続けています。カナダや米国、ドイツも長い活動歴を持っています。カナダでは野生生物並びに魚を中心とする2つのバンクがあり、特に野生生物バンクは半世紀に及ぶ長い歴史をもっています。米国とドイツは環境試料に加えてヒト生体試料の保存も進めており、大がかりな液体窒素冷却保存施設を有して活動しているところが特徴です。ドイツは環境省の管轄下でモニタリングと一体となって動いており、均質化して保存する試料の一部は大学

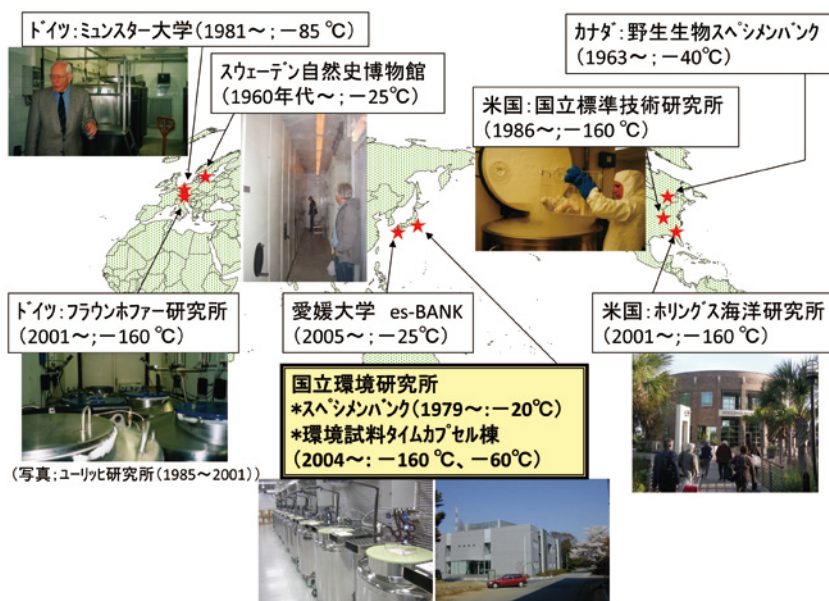
等にも提供し、学術成果の発信を共同で進める形をとっています。

一方、米国は国立海洋大気庁 NOAA の Status & Trends Program における Mussel Watch など、外部機関の長期環境モニタリングプログラムとも連携して試料収集、保存を続けています。最近、韓国や中国にも新しいバンクが誕生しました。2013年10月には、中国の新しいバンクの完成を祝って上海でスペシメンバンキングの国際シンポジウムが開催される予定で、その準備が進められています。

国際条約にも認められた スペシメンバンキングの意義

化学物質の中でも環境残留性が高く生物蓄積性の高い有害な物質(残留性有機汚染物質: POPs)は優先して対策に取り組む必要があり、ストックホルム条約と呼ばれる国際条約が締結されて世界全体で協調しな

がら POPs の廃絶や削減が図られています。当初 PCB やダイオキシンなど 12 物質であった条約対象物質は、その後 PFOS を含む 10 物質が新たに追加され、さらに追加審議が続いています。またこの条約の第 16 条には、条約の有効性を全世界の環境モニタリング情報を定期的に集約して評価することが定められており、その手法(全球モニタリング計画: GMP)を定めたガイダンス文書が作られています。GMP のもとでモニタリングのために集めた試料を保存しておけば、各国の施策の効果の確認や、新規追加物質や追加提案物質の年変化の解明、自国で分析できる体制が



■ 図7: 世界のスペシメンバンクの地図

現代社会では、数多くの化学物質が生活の様々な面で活用されています。

これらが適正に管理されているか、環境を汚していることはないか、

絶えずモニタリングする一方で、集めた環境試料を保存し、

管理体制の有効性や毒性などの見逃しのないことを将来の優れた科学技術で評価するために、

世界各地でスペシメンバンキングが進められています。



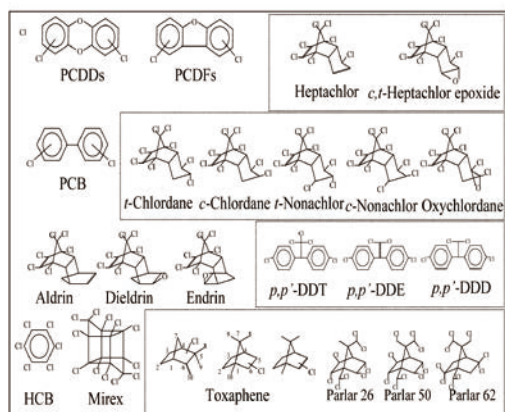
整うまでの間の途上国試料の保管など様々な活用が期待されることから、GMPにスペシメンバンキングも組み込むことが2009年の第4回締約国会議で決議され、その主執筆者を当所の研究者が務めました。国際的にも認知が進んだことで、途上国を含めてスペシメンバンキングの輪がさらに広がるものと期待されます。

日本では

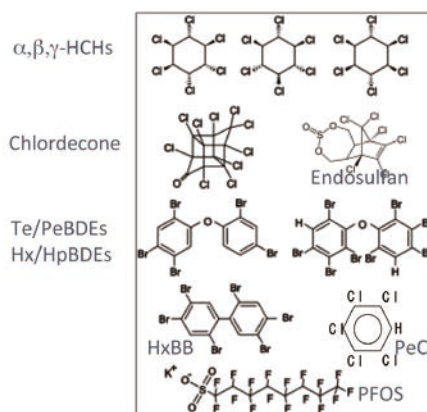
国内では国立環境研究所のほかに、愛媛大学がes-BANKと呼ばれる野生生物等のスペシメンバンクを運営しています。また、旧国立公衆衛生院の大気フィルター捕集試料コレクションなど、ほかにもいくつかの試料保存事業があります。なかでも愛媛大学では、PCBなどの残留性有機汚染物質に特に焦点をあてて長く研究を進めてきており、アザラシやイルカなど、生態系の上位にいる生物種を数多く含んでいて、世界各地の試料収集、保存、分析が行われている点がユニークです。

国立環境研究所では

国立環境研究所では、1979年から保存施設を作って環境試料の保存を開始しており、2002年からは環境試料タイムカプセル事業として継続的な収集、保存を続けています。生物種の中では比較的短寿命で汚染の年変化の追跡に適した二枚貝や魚類などを主たる対



最初の12物質



新規追加10物質

■ 図8：ストックホルム条約の対象化学物質の構造

象としており、ほかにイカや鳥類、トンボ、底質や雨水、大気粉じんなど、様々な試料が収集、保存されてきています。さらに、環境省や他の研究機関とも連携して、それらの機関がモニタリングのために集めた試料の一部を預かって、長期に保存する事業を進めています。2004年には環境試料タイムカプセル棟の完成を記念して国際シンポジウムを開催しました。また、2007年には日本で開催されたPOPsに関する国際会議の中でスペシメンバンキングに関するセッションを主催し、ストックホルム条約では各国と連携しながらスペシメンバンキングの章の執筆にあたるなど、国際連携強化にも努めています。その一方で、より多くの化学物質を網羅的に監視するための新たな分析手法の開発にも取り組んでおり、その改良や実用性評価などにも保存試料が役立つものと期待されます。

スペシメンバンクに関する情報源

- 国立環境研究所 環境試料タイムカプセル研究
<http://www.nies.go.jp/timecaps1/index.htm>
- International Environmental Specimen Bank group
<http://www.inter-esb.org/>
いずれも、各国の環境試料バンクの紹介ページがあります。

「国立環境研究所における スペシメンバンキングに関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、環境計測の研究を行ってきました。

ここでは、その中から、スペシメンバンキングに関するものについて、その歩みを紹介します。

課題名

環境試料による汚染の長期モニタリング手法に関する研究 (1980～1982年度)

環境汚染の長期的変動を監視するためのモニタリング手法の確立を目指して、試料の代表性に関する検討、バックグラウンド地域におけるモニタリング手法の検討や高感度な分析手法の開発とあわせて、採取試料の長期保存方法に関する研究を進めました。

課題名

バックグラウンド地域における 環境汚染物質の長期モニタリング手法の研究 (1983～1987年度)

高感度な分析手法の開発を進めるとともに、バックグラウンド地域としての摩周湖等を舞台とする汚染の長期的なモニタリング、二枚貝を使った全国沿岸域の汚染調査や、環境試料の保存を行ないました。

課題名

スペシメンバンキングによる 環境の時系列変化の保存ならびに復元に関する研究 (1990～1994年度、1995～1999年度)

二枚貝を中心とした環境試料の収集を継続するとともに、蓄積された汚染物質の分析法の開発と保存条件に関する研究を進めました。

課題名

環境試料タイムカプセル化事業 (2002～2010年度、2011年度～)

広域的な汚染把握と希少生物保全の二つの観点から環境に対する人為的なインパクトの把握をめざし、こうした環境変化を記録する試料を知的基盤として系統的に蓄積していくことを目的として事業を推進しています。

これらの事業、プロジェクト、研究は以下のスタッフ組織によって実施されています(所属は当時、敬称略)

<研究・事業担当者>(過去の課題の中のスペシメンバンキング担当者を含む)

国立環境研究所 不破敬一郎、安部喜也、安原昭夫、横内陽子、森田昌敏、相馬光之、瀬山春彦、植弘崇嗣、柴田康行、田中 敦、吉永 淳、堀口敏宏、田辺 潔、向井人史、白石寛明、武内章記 ほか

所外研究者 岡本 拓、白根義治(広島県)、故尾崎邦雄(新潟県)、門上希和夫(北九州市)、神 和夫(北海道)、山岸達典(東京都)、下地邦輝(沖縄県)、河野裕美(東海大)、杉森文夫(山階鳥研)、田中博之(遠洋水研) ほか

● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、スペシメンバンキングに関するものを紹介します。

No.47 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

化審法に生態影響評価が導入されたことをきっかけに、水生生物による生態毒性試験の標準化や生態毒性を計算機で予測するための研究を行っています。その中から、化学物質の毒性の予測システムの開発について紹介しています。

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

国内で使用される化学物質は年々増えており、個別に管理することが難しくなっています。排水等の環境水の生態影響の大きさを、生物を使って直接測定し、改善目標と手法を提案して、市民が安心して暮らせる環境づくりの研究を紹介しています。

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

有害性の認識がありながら、安全・安心な処理技術がなかったため、廃石綿と廃 PCB は長い間「負の遺産」として存在してきました。石綿、PCB の処理技術の開発や評価に関する分析化学面からの研究を紹介しています。

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、その結果を紹介しています。

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

巻貝に及ぼす「有機スズ」の内分泌かく乱作用について、自然界における影響を明らかにするための個体群を対象とするフィールド研究と、なぜそのようなことが起こるのかを明らかにするための実験室における雄性化のメカニズム研究の最新動向を紹介しています。

環境儀 No.48

—国立環境研究所の研究情報誌—

2013年4月30日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当 WG: 稲葉一穂、柴田康行、西川雅高、玉置雅紀、杉田考史、佐治光、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 (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) // 企画部広報室 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 有限会社サイテック・コミュニケーションズ

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-14-3 イルサ202

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.1 2001年 7月	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	No.25 2007年 7月	環境知覚研究の勤め—好ましい環境をめざして
No.2 2001年 10月	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	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.3 2002年 1月	干潟・浅海域—生物による水質浄化に関する研究	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.4 2002年 4月	熱帯林—持続可能な森林管理をめざして	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.5 2002年 7月	VOC—揮発性有機化合物による都市大気汚染	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.6 2002年 10月	海の呼吸—北太平洋海洋表層のCO ₂ 吸収に関する研究	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.7 2003年 1月	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	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.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.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.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.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.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.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.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.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.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.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.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.37 2010年 7月	科学の目で見る生物多様性—空の目とミクロの目
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.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.15 2005年 1月	干潟の生態系—その機能評価と類型化	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.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.40 2011年 4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.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.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.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.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.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.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.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.44 2012年 4月	試験管内生命で環境汚染を視る—環境毒性のin vitro バイオアッセイ
No.21 2006年 7月	中国の都市大気汚染と健康影響	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.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.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.23 2007年 1月	地球規模の海洋汚染—観測と実態	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.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		

「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つ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。