



環境儀

NO.55

DECEMBER 2014

国立環境研究所の研究情報誌

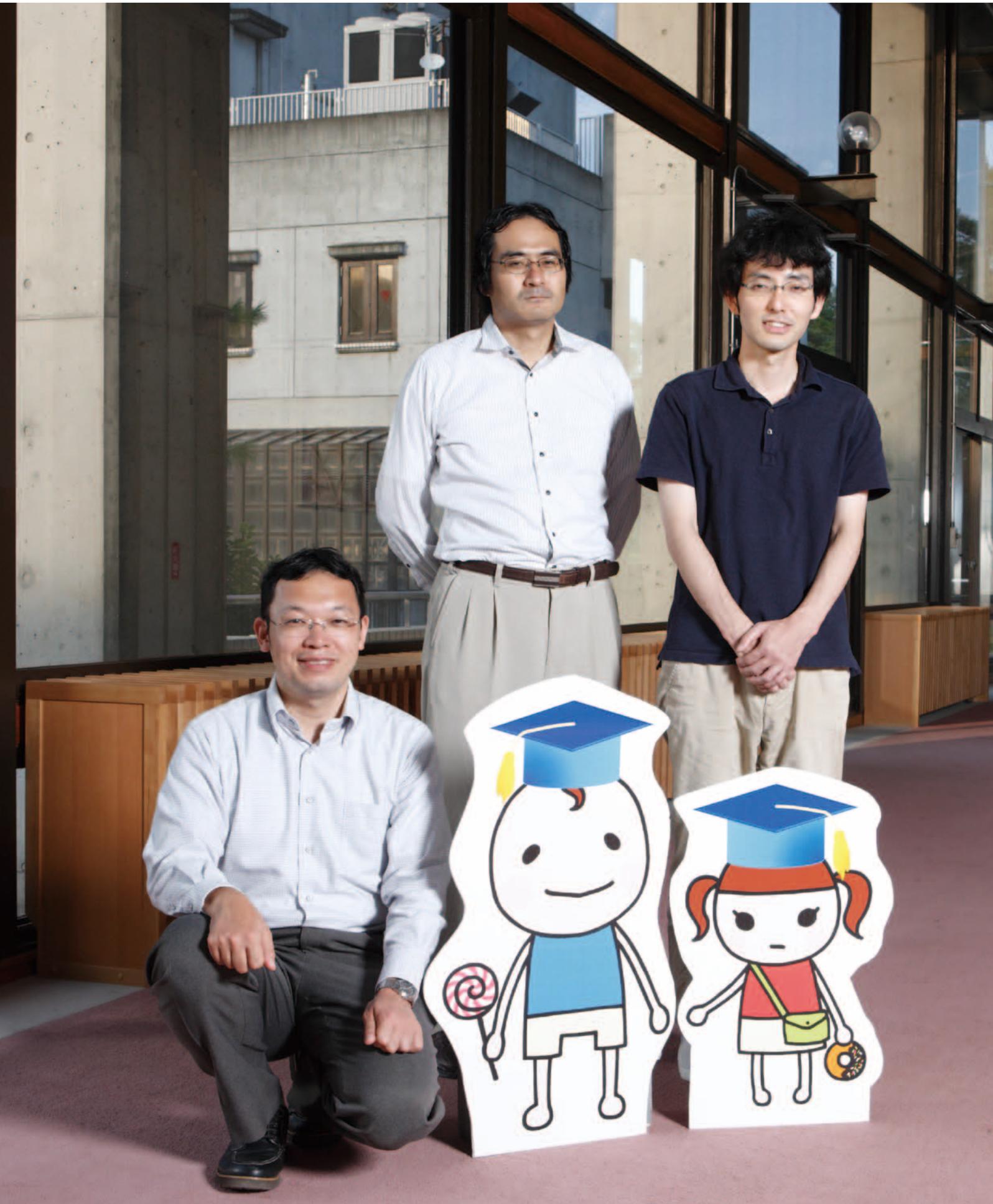
未来につながる
都市であるために
資源とエネルギーを有効利用するしくみ



独立行政法人

国立環境研究所

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





多くの人々が都市に暮らすことは、モノや情報を共有して生活が豊かになるとともに、資源の消費を抑制できる可能性があります。しかし、資源消費を効率化する取り組みは不十分です。すでに発展を遂げた先進国の諸都市に加え、近年、途上国の都市も急速に拡大しており、その経済活動による地球への悪影響が増大しています。それにともない、都市の発展と、環境や資源の面での持続可能性を両立するしくみを作ることが急務となっています。

国立環境研究所では、都市における資源やエネルギーを効率的に利用する技術やしくみを考え、それによって資源の消費を抑え、環境への負荷を削減する研究に取り組んでいます。その鍵となるのは、住宅や商業地域と、産業地域との効率的な連携をはじめ、木材などのバイオマスを適切に利用する自然共生のしくみを整えることだと私たちは考えています。また、様々な資源や環境に与える影響を様々な角度から評価する指標づくりも行っています。

本号では、先進的な取り組みを行っている都市の事例とともに、最新の研究活動やその成果を紹介します。

人類の経済活動の拡大は、資源の大量消費を誘引し、そこから生じる廃棄物が環境に悪影響を与え、地球の生命の存続を脅かしています。この悪循環を防ぐために、多くの人々が暮らす都市の資源・エネルギー消費の構造を大幅に改善し、未来に向けて持続的に都市を発展させる方法が、求められています。

C O N T E N T S

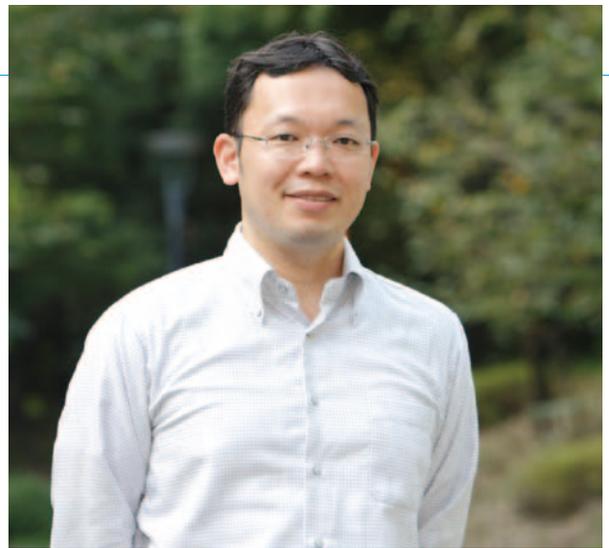


未来につながる都市であるために 資源とエネルギーを有効利用するしくみ

- Interview 研究者に聞く
持続可能な都市をめざして p4～9
- Summary
共生による
都市の持続可能性の向上 p10～11
- 研究をめぐって
持続可能な都市の
構築に向けて行われている
様々な取り組み p12～13
- 国立環境研究所における
「都市の持続可能性の向上に関する研究」
のあゆみ p14

Interview 研究者に聞く

人口が集中し、産業や交通が発達している都市では、社会活動や経済活動がさかんです。しかし、都市の発達にともない、環境悪化や資源の枯渇などの問題が生じ、地球環境への負荷も大きくなっています。こうした問題を克服し、都市を持続させていくためにはどうしたらよいのでしょうか。社会環境システム研究センターの藤井実さん、大場真さん、戸川卓哉さんは、持続可能な環境都市の構築をめざして研究を行っています。



藤井 実／社会環境システム研究センター 環境都市システム研究室 主任研究員

持続可能な 都市をめざして

都市環境を守るために

Q：都市環境にはどんな問題があるのですか。

藤井：都市には多くの人が集まり、産業や交通など多くの機能が発達しています。しかし、都市の活動がさかになればなるほど、多くのエネルギーを消費し、化石燃料など資源の枯渇が問題視されるようになってきました。また、廃棄物や汚染物質が発生し、環境も悪化しています。こうした問題の積み重ねが地球環境

への負荷を大きくしています。

大場：都市の問題の影響を受けているのは人間だけではありません。都市周辺にすんでいる生物たちは、都市活動による環境破壊や汚染物質によって悪影響を受けています。便利な都市においても、生物たちへの配慮が必要です。

戸川：都市には機能が集中しているので、郊外からたくさんの人やモノが集まってきますし、郊外へも出ていきます。都市部では交通や流通網が発達していますが、一方、人口の少ない郊外では交通が整備されていなかったり、エネルギーの供給が不便だったりします。都市が発達すると、このような地域間の構造の格差も生み出します。

Q：都市をめぐる問題を解決し、都市を持続させるにはどうしたらよいのでしょうか。

藤井：都市では大量の資源やエネルギーを消費しま

持続可能性の評価に求められるもの（占有の概念）

都市の持続可能性には、環境、社会、経済などの分野に渡る多様な要素が関係しており、それぞれに様々な評価指標が提案されています。これらの全てを考慮に入れることは容易ではありませんが、なるべく視野を広げて評価を行うことが大切だと思われれます。持続可能性を考える際には、その存在量や供給量が不足する可能性のあるものごとを考えることが重要です。

人類がこのままのペースで利用し続けると、存在量が足りなくなる可能性のあるものとしては、身近で大量に利用されている鉄や銅などの主

要金属類や、金などの埋蔵量の少ない希少金属類などの「物質」、都市が存立する場所であり、生態系にとっても重要な「土地」、そして製品やサービスの提供に欠くことのできない「労働」などが挙げられます。

供給量が不足する可能性のあるものには、環境が「汚染物質」の隔離や無害化を行うことができる能力が挙げられます。また、淡水のように、湖沼に蓄えられている地球上の全貯存量よりも降雨としての供給量が重要なものもあります。

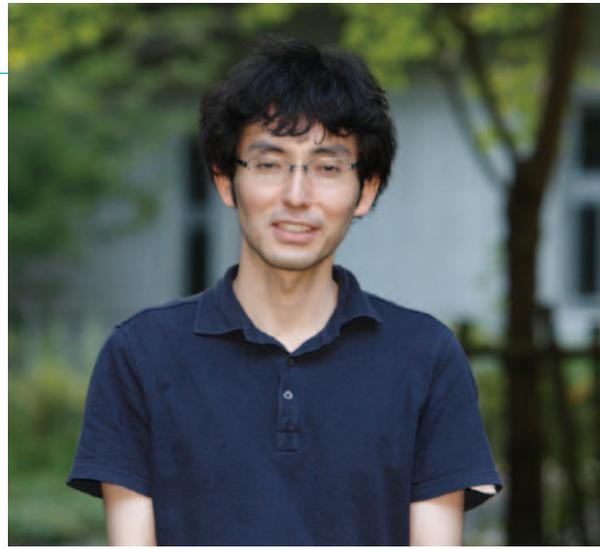
私たちは、これらの広い意味での「資源」を「占有」している状態を計測

することで、持続可能性を俯瞰的に評価する指標の開発を行っています。占有とは、ある個人や集団（会社、地域、国など）が、他の人々には利用できないように独占的に利用している状態を指します。

例えば、自動車を所有している人は、車体を構成する鉄を占有していることとなります。しかし、自動車を廃車にした後は、鉄はスクラップとして次の人に引き継ぐことができます。都市を持続可能にするには、必要最小限の資源を現役世代の間で適切に振り分け、そして次世代に引き継ぐことが重要です。



大場 真／社会環境システム研究センター 統合評価モデリング研究室 主任研究員



戸川卓哉／社会環境システム研究センター 環境都市システム研究室 研究員

す。エネルギー源となる化石燃料の消費は資源の枯渇ばかりでなく、大気汚染や二酸化炭素の発生による地球温暖化を引き起こします。また、都市活動にともなう廃棄物による環境負荷を減らさなければなりません。そのためにはまず、資源・エネルギーの問題を解決することが重要だと思います。これが解決されれば、都市の活動への制約が減って、そのほかの問題へと対策を広げていくことができますからね。

対策としては、リデュース(ごみの発生抑制)、リユース(再使用)、リサイクル(ごみの再利用)の3Rや、未利用資源やエネルギーの活用、省エネルギー、再生可能エネルギーの利用を進めることです。このようにして、資源をうまく活用し循環させれば、都市の機能を持続させつつ、資源消費や廃棄物の削減ばかりでなく、低炭素化など環境負荷を減らしていくことができると考えています。私たちは、エネルギーの安定

供給や低炭素化を実現した将来の都市の姿を描くことをめざし、そのためのしくみづくりを考えています。

低炭素型の都市をめざす

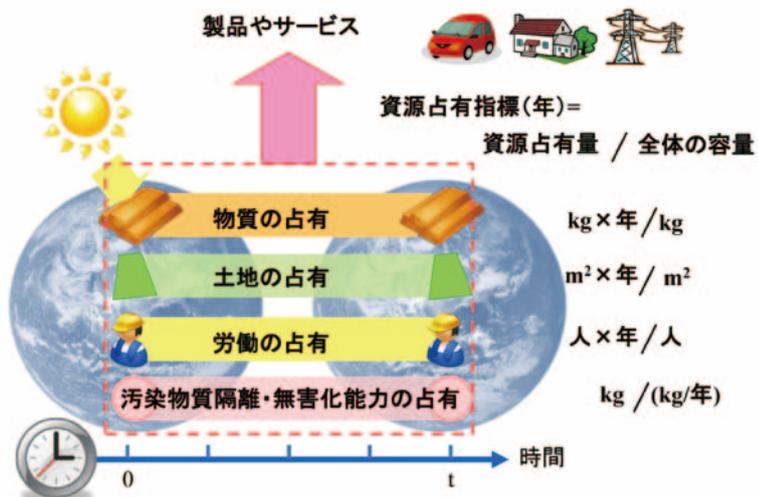
Q：研究のねらいは何ですか。

藤井：私が注目しているのは廃棄物の活用です。廃棄物や未利用エネルギーを活用し、資源を効率よく循環させるしくみをつくることで、都市の中でも資源やエネルギーを大量消費している産業を低炭素化したいと考えています。廃棄物の適正処理の側からも、産業の既存施設を使って、なるべく無駄な設備投資を減らし、変化に対して対応できるようなしくみづくりが大切です。化石燃料への依存から転換し、産業と共生した低炭素型都市をめざしています。

大場：私は都市と自然との共生を目標に、木質バイオ

■ 図1 資源占有率指標の概略図

一時の消費で終わってしまうのではなく、次世代に引き継げる「占有」という状態の計測により、持続可能性の評価を適切に行うことができると考えています。そして占有量を全体の容量で割り算することで、異なる要素の占有の影響を、「年」という時間の単位に揃えて比較することができます(図1)。単位を揃えることを規格化と言いますが、資源占有率という規格化された指標にすることで、異なる要素を比較しやすくなるのが利点です。資源占有率が小さいほど、より持続可能であると判断できます。



マスに注目して研究しています。木質バイオマスとは木材やチップなどのことで、間伐材も含まれます。日本の国土の7割近くが森林で覆われていますが、その30%強は1950-60年代に植えられたスギやヒノキなどの人工林です。植えられて50年を超えますが、間伐などの適切な手入れがされなかったため、木材としての価値が低く、機能が低下している森林が問題となっています。一方、海外から安価な木材を大量に輸入しており、国内の森林生態系を放置しているだけでなく、海外の生態系にも負担をかけているのが現状です。このような事態を防ぐために国内の森林に目を向け、バイオマスとして都市で利用するしくみをつくりたいと考えています。

戸川：私は交通利便性が高い結節点(ハブ)に住宅やオフィスを集めた都市である「コンパクトシティ」という概念に興味を持って研究を進めています。コンパクトシティでの交通の利便性にエネルギーという視点をプラスして、エネルギーを効率よく活用し、人々の暮らしや産業に適した空間構造とはどういうものかを明らかにしていきたいです。

様々な視点から都市を考える

Q：研究を始めたきっかけは何ですか。

藤井：わたしは化学工学が専門で、学生の頃は海洋の植物プランクトンが二酸化炭素を吸収するしくみについて研究していました。一見すると単純な化学反応でも、実際に、そこには実に多くの化学反応が含まれていてとても複雑です。しかし、その中の律速段階と呼



海面や土地が大量の廃棄物で埋め立てられている現状

ばれる化学反応を制御することができれば、全体を制御することができます。いまは、研究の対象がリサイクルや都市環境へと変わりましたが、考え方は一緒に、都市の持続性という複雑な問題を考えたときに、全体を左右する重要な律速段階に相当する箇所は、都市の資源とエネルギーの使い方になると考えています。そして、都市のエネルギーの使い方を改善することが、地球全体の環境維持にも有効なのです。このような認識を持ったことが、現在の研究を始めたきっかけです。

大場：私は森林の研究をしており、都市部や農地以外の山間地域や森を守る方法を模索してきました。改善するいろいろな方法を提案しても、都市と協調できずに実現できないことも多かったのです。そこで、視点を変えて都市の側から研究してみるのもいい方法かもしれないと今の研究を始めました。

戸川：私は空間情報学が専門で、エネルギーの観点から都市の研究を始めたのは当研究所に赴任した2年半

トレードオフの把握

持続可能な物質・エネルギー利用の究極的な姿は、物質の利用を定常的にし、エネルギーは再生可能なもののみを利用することです。定常的とは、物質を利用していても、リサイクルして繰り返し利用することにより、実質的には物質の消費を行っていない状態です。

しかし、大量消費が行われている現在の社会が、このような究極的な姿に到達するのは容易ではありません。徐々に改善する対策を取ることが必要です。一方、都市の持続可能性にとって、ある面を改善するための対策が、別の面では負の効果をも

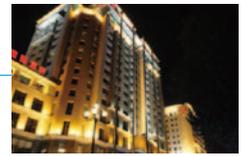
たらしてしまうことがあります。このようなトレードオフの関係を把握しながら、より持続可能な姿に近く選択をすることが求められます。

一例として、鉄骨住宅と木造住宅の比較を行い、資源占有率指標で評価を行った結果を示します。鉄骨住宅は、鉄という有限な資源を占有します。鉄の製造には石炭が利用されるため、二酸化炭素の排出にもつながります。大気中で増加した二酸化炭素は、土壌や海洋に移行して徐々に大気から除去されますが、このとき除去能力の一部を占有します。現在は、地球全体の除去能力を超えた

放出により、大気中の二酸化炭素濃度の増加(地球温暖化)につながっている状態です。

一方の木造住宅では、再生可能で二酸化炭素の実質的な排出がない木材を利用しますが、その製造には土地を占有します。植林地は、天然の自然からは人工的に改変されており、このような土地占有の影響も考える必要があります。

図2には、鉄骨から木造に変更した際の費用と資源占有率の変化(差)を示しており、鉄の使用、木材の使用、二酸化炭素の排出に関して、1つの評価基準である経済的な価値の変化とともに、資源占有率による評価結果(値が小さいほど持続可能)を示しています。経済的観点からは、鉄と木



産業共生発祥の地カルンポー（デンマーク）の風景

前からになります。以前は、地理情報システムというツールを使って、人々の居住地として最適な場所をシミュレーションしていました。こちらに移ってからも研究の根本は変えていませんが、新たにエネルギーという観点を加え、資源を効率よく活用するための都市構造について調べています。

Q：研究はどうやって行うのですか。

藤井：統計データや観測データを使って、様々な都市で使用されている資源やエネルギーを分析し、効率よく利用するしくみを考案しています。例えば、ある工場で熱が余っている場合、別の工場に送って利用すれば、燃料の消費や二酸化炭素の排出量を抑えることができます。しかし、このしくみを実行するためには、工場間の距離が近く、適切なタイミングで熱を送れなければ意味がありません。そのため、工場の立地や輸送時間をふまえてマッチングができるのかどうかを検討します。また、廃棄物をエネルギーとして再利用す

るためには、さまざまな場所から回収しなければなりません。廃棄物は工業地帯から大量に出されることもあれば、住宅地から少しずつ出されることもあります。排出される場所や量にばらつきがある廃棄物を効率よく集めるためには、新たな社会システムをつくる必要があります。そのために、新しい制度を行政に提案したり、技術と政策の組み合わせを考案したりしています。

大場：私は、森林のシミュレーションモデルを使って、森林が二酸化炭素や窒素酸化物などをどれくらい吸収するか、水をどれくらい貯められるかを計算しています。研究では、50～100年単位の長いスパンでの森林の変化を調べる必要があるため、モデルが役に立つのです。このモデル自体は昔から使われてきましたが、バイオマスの目的で使ったのはかなり先駆的だと思います。シミュレーションモデルをもとに都市で木質バイオマスを使ってもらうにはどうすべきかに主眼を置いて研究しています。

戸川：都市の空間構造を考えているので、空間シミュレーションを用いて研究しています。また都市計画においては、どんなところに何をつくれればいいのかといった適地を選択する必要があります。そんなときには、都市経済学の理論を用いて考えます。

地域での取り組み

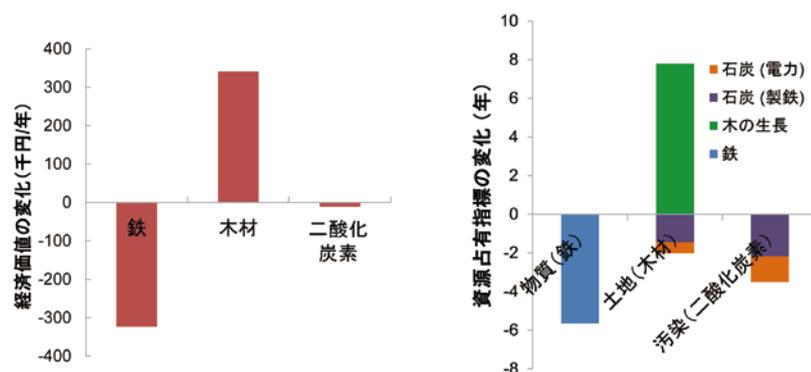
Q：持続可能な社会システムを考えるためにモデルとなる都市はありますか。

藤井：たとえば、デンマークのカルンポーは、産業共

材は同程度の価格で、二酸化炭素削減の経済価値は、これらに比べるとずっと小さく、結果的に両者で経済的な差異はわずかであると評価されます。

資源占有率で見ても、鉄の物質占有を減らせる効果と、木材生産のための土地占有の増加は、同程度の年数となり、一概にどちらがより持続的とは言えません。再生可能資源の利用も、視野を広げて評価すると、常に持続可能性にとってプラスになるとは限らないのです。一方、木造にすることで得られる、二酸化炭素の削減効果はある程度大きく、この点では効果があることが分かります。

■ 図2 評価結果（経済的評価と資源占有率による評価の比較）



生発祥の地として知られています。産業共生は40年前に始まったのですが、今では工場と都市が共存しており、火力発電所を中心に広がっています。パイプラインを通して、エネルギーや水のやりとりをして、二酸化炭素を大きく削減しています。このような取り組み事例を参考に、システムを考えています。

Q: どんな都市を対象に研究しているのですか。

大場: これまで、愛知県の名古屋市、豊田市、三重県の松阪市など様々な都市を研究対象としてきました。現在は、福島県の新地町を中心に研究をしています。新地町は、沿岸部の最北端にあり、宮城県との県境に位置し、町民の一部は仙台にも通勤しています。2011年に発生した東日本大震災では、津波の被害を受けました。国立環境研究所では、環境と経済が調和した持続可能な環境都市の再生をめざして新地町と連携研究を行っており、その一環として研究しています。震災以降、東北地方の太平洋沿岸の都市を復興し、持続的に発展させることは、重要な課題です。新地町を元の状態に戻すだけでなく、持続可能な都市として日本全体を引っ張るような場所に変えていきたいです。

Q: 新地町の研究はどの程度進んでいますか。

大場: 従前の都市機能を元通りにする作業は順調に進んでいます。現在は、この地域のエネルギー源となる未利用資源や再生可能資源にはどんなものがあるのか、どのように利用するのかなど持続可能な都市に変えていくための構想を練っています。今後は町役場や関連企業と話し合いを重ねて方針を決めていきたいと思っています。私は東北の宮城県出身ですので、故郷や被災地の復興に役立つような研究をしたいと思って



広大な太陽光発電施設

いました。今回は新地町の研究に携わることができて、大きなやりがいと責任を感じています。被災地では地震や津波の被害に加え、人口が減少して都市の力が衰退するという悪循環も起こっています。このような事態を防いで、東北を少しでも明るくできるようにしたいと研究を進めています。

戸川: 新地町役場のみなさんなどの協力のおかげで、研究は順調に進んでいます。計画の実行に向けて、住民のみなさんに環境保全を理解してもらうためのワークショップや講演会を行ったり、学校で出前授業をやったりしています。また、事業実施のための協力企業を探したいと考えています。こうした街づくりには、研究者自身も経済やビジネスの知識を持つことが必要だと実感しています。

Q: 海外の都市も研究対象にされているのですか。

藤井: 中国の北部にある瀋陽市の研究機関とは研究協定を結んでいて、廃棄物を活用してエネルギーにする

持続可能な社会システムへの転換

この前の2つのコラムでは、持続可能な状態に近づいているかどうかを判断する指標についてお話ししました。しかし、実際に社会のしくみを持続可能な形に変えるには、その転換を促すものがが必要です。そのようなつなぎの役割を果たすしくみとして、ハイブリッド産業と呼ぶしくみを研究しています(図3)。

都市を持続可能な形に作り替えるには、産業間の共生、住宅・商業地区と産業の共生、そして自然と都市との共生が有効な手段となりますが、これらの共生を総動員して作る、将来の理想的な超低炭素産業を目指し

た研究です。住宅・商業地区や交通からの二酸化炭素の排出削減は、初期費用がかかってしまいます。けれども、対策メニューは豊富なため、これらを導入すれば大幅な削減が可能です。

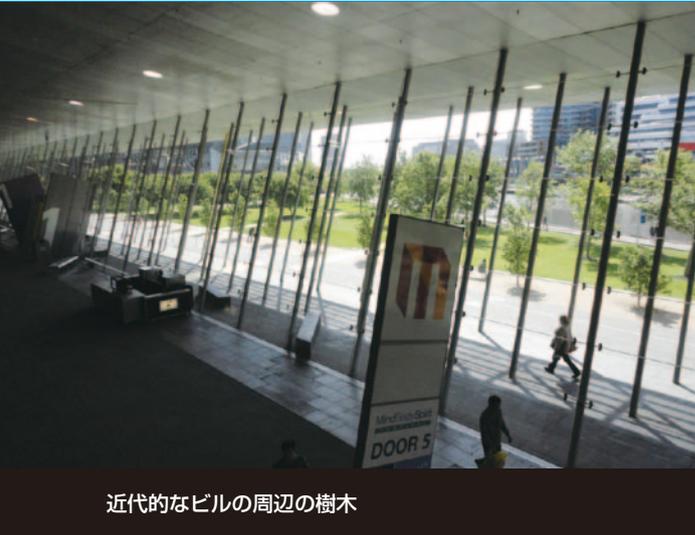
一方、国内の産業は省エネルギー化が進んでいます。例えば、鉄1トンやセメント1トンを製造する際のエネルギー消費量は世界で最も少なく、製造プロセスの変更だけではこれ以上の排出削減は難しい状況です。

このような状況下でさらに二酸化炭素の排出を削減するには、原燃料を低炭素なものに変える必要があり

ます。将来の理想的な産業の姿は、廃棄物やバイオマスの利用率を飛躍的に高めていくというものです。しかし、その理想的な姿は現在のしくみとは大きく乖離しており、すぐに実現できるものではありません。

電気自動車を普及させる際に、ガソリンでも充電でも走れるプラグインハイブリッド自動車があると、充電インフラを整備しながらの移行がスムーズに行うことができます。

この事例と同じように、化石燃料でも廃棄物やバイオマスでも製品を生産できるハイブリッド産業ができれば、低炭素な原燃料の供給体制を



近代的なビルの周辺の樹木

しくみを検討しています。中国ではごみの分別が一般的ではないので、環境教育の実施と合わせて廃棄物の分別収集実験を行いました。大学構内に分別ごみ箱を設置し、ごみの分別の様子を調査したのですが、調査した冬季は気温がマイナス30℃にもなる寒い時でした。過酷な調査でしたが、先生や学生さんたちが熱心に実験に協力して下さいだったので、うれしかったです。また今年度からは、インドネシアのボゴール農科大学とバンドン工科大学との共同研究が始まりました。このプロジェクトでは、インドネシアの都市にセンサーを設置し、住宅や工場等のエネルギー消費量を測定します。そのデータをもとに、都市で排熱を有効利用するシステムなどを提案していきます。

社会のニーズに役立つ街づくりを

Q：今後はどのように研究を進めていきたいですか。

藤井：社会に、研究で提案しているような都市のしくみを実際につくっていきたいです。エネルギーのしくみを考えると、いま、すごいスピードで技術が進歩しているので、悠長に研究しているとあっという間に研究が役に立たなくなってしまう。社会の変化に対して強い、また柔軟な提案をすれば長期に対応でき、世の中に役立つ研究になるのではないかと考えています。

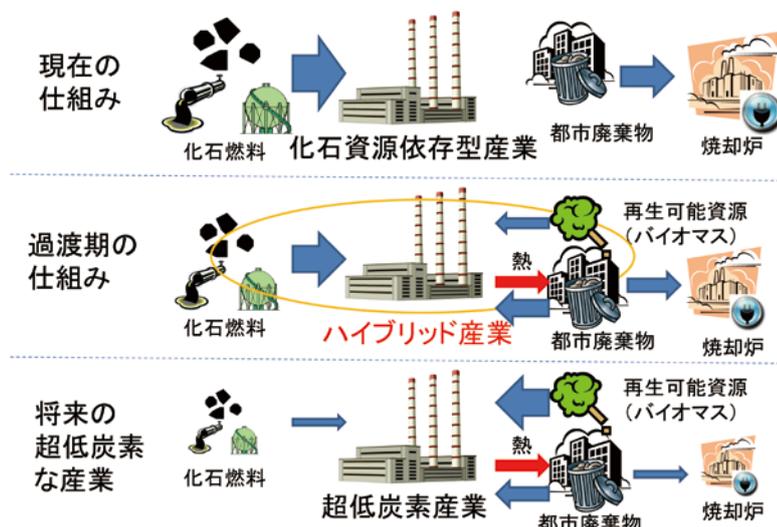
大場：休日の都会の公園には、人々が緑を求めて殺到しています。一方、このつくばには緑がたくさんあってそんなことはありません。その様子を見て、都市と郊外では、人々が自然に触れ合う機会に不公平があると感じました。さらに、山間地では、自然が豊かすぎてクマなどの動物が人に被害を及ぼすニュースを毎日のように見かけます。生物多様性や自然保護とは見方が異なりますが、都市計画の観点からは、このように場所による自然環境や生態系の不公平なところを少しでも是正するための研究ができればいいなと思っています。

戸川：課題に応じたエネルギーや交通などの新たな使い方を検討していきたいです。気候変動や災害など地球温暖化の影響で国内の気候が変わってきており、都市計画やエネルギー計画において今までの手法が通用しなくなってきています。日本では人口減少といった新たな課題を抱える都市も顕在化しつつあるので、日本の都市をよりよいものにするために、時代のニーズに適應した新たな対処方法を構築したいと思っています。

■ 図3 ハイブリッド産業の概念図

徐々に整えて、理想的な超低炭素産業への移行を促すことができると考えられます。すでにセメント産業などはハイブリッド化していますが、産業全体では大幅な導入拡大の技術が必要です。そしてより大切なのは、低炭素な原料を大量かつ安価に供給するしくみを整えることです。

この目的を実現するために、廃棄物、エネルギー、森林の研究を通して、その経済性や環境面に及ぼす正負の効果进行分析しています。





産業共生の取り組みは、海外だけでなく国内でも行われています。例えば、産業が集積している川崎市はその代表例で、物質フローの分析や、産業共生によりもたらされる効果の推計が行われてきました(図4)。これらの取り組みによって、天然資源の消費削減や、温室効果ガスである二酸化炭素の発生抑制の効果が得られています。

住宅・商業地区と産業の共生

産業間の連携に加えて、住宅・商業地区と産業とが連携を進めることによって、さらに省資源化や環境負荷の削減を行うことができます。例えば、家庭から出る廃棄物からは、プラスチック製容器包装や紙製容器包装が、容器包装リサイクル法の制度の下に分別回収されています。回収されたプラスチックの一部は鉄鋼産業や化学産業で原料として、紙の一部は工場の燃料として利用されています。このように、プラスチックや紙を原燃料として再利用すれば、廃棄物を焼却炉で燃やして発電するよりも高い資源の節約効果が得られるだけでなく(図5)、既存の産業炉を活用して廃棄物の一部を処理することもできます。そのため、焼却炉の設置数や設備能力を削減できるのです。焼却処理されている廃棄物の中には、まだ産業で利用できるものが含まれており、産業の側も、まだ受け入れる余地があります。再利用できる廃棄物を効率よく大量に集めるしくみを整えることが重要な課題となるため、その方法や効果の検討を進めています。

一方、住宅・商業地区が必要とする暖房や給湯などの熱は、100℃に満たない熱でよいので、産業の排熱を利用してエネルギー消費を削減することが可能です。ただし、熱の輸送にはパイプなどの設備が必要になり、輸送の間に温度が低下するので、どこでも実施

できる訳ではありません。産業から住宅・商業地区への熱供給を可能にする経済条件についても検討を進めています。

自然と都市の共生

都市に緑地が存在し、生態系の営みがあることは自然と都市の共生関係として重要です。また、都市にまとまって人が住むことは、自然の生態系に地球上の限られた土地をできるだけ多く残すという観点から重要です。一方、都市で必要な原料や燃料を、自然から供給してもらうことも必要です。国内では、安い輸入材に需要を奪われたり、働き手が不足したりという原因によって、高密度で植林したまま管理されなくなった森林が増大しています。植林地では適度な間伐を行わないと、生い茂る葉で日光が遮られ、下草が枯れてしまいます。

研究では、木材の伐採や運搬工程を機械化して森林管理の効率を高めることで、どの程度の量の木材をどんな価格で供給できるのか、それによって森林の生態系の機能はどの程度回復するのかについて検討を行っています(図6)。



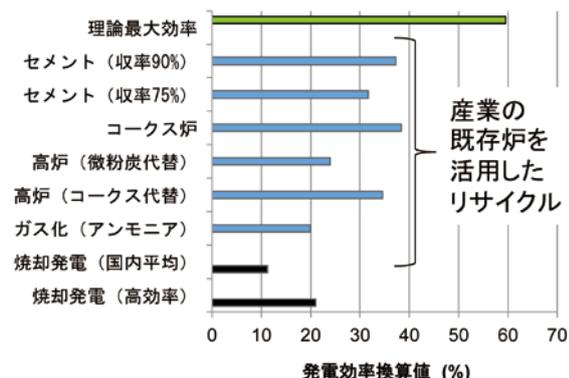
■ 図6 機械化による森林の間伐

■ 図5 リサイクル効率の比較グラフ

グラフはプラスチック製容器包装を、産業の既存炉を活用してリサイクルする効率を発電効率に換算して示したものです。しかし、比較対象がないと、効率的と言えるのかどうかはよく分かりません。そこで、上記の効率を理論最大効率(どんなに頑張っても超えられない最大の効率)と比較し、さらに焼却発電という、廃棄物を焼却炉で焼却し、その燃焼熱を利用して電気を作るケースとも比較しました。

容器包装プラスチックは、多種類のプラスチックが混在し、食品による汚れなど、異物も含まれるために、理想的なリサイクルを行うのは極めて困難です。その観点では、産業の既存炉を活用したリサイクルは、最大理論効率と比較して、それほど遜色ない効率だと言えます。また、国内の廃棄物焼却発電の平均的な効率は10%を少し超える程度であり、最新鋭の高効率な焼却発電施設でも発電効率は20%程度ですので、産業の既存炉を活用したリサイクルが有利なことが分かります。

(藤井ほか, 2011より, 一部修正)



持続可能な都市の構築に向けて行われている、様々な取り組み



世界では

都市の持続可能性は、世界中の人々の大きな関心事になりつつあり、様々な会議で対策が議論されています。1992年にブラジルのリオデジャネイロで「環境と開発のための国連会議（地球サミット）」が開催されたことは有名ですが、その20年後の2012年に、国連持続可能な開発会議（リオ+20）が再びリオデジャネイロで開催されました。この会議では、世界中の国々から多くの人々が集まり、どのようにして環境に優しい経済のしくみを構築して持続可能な発展を実現し、貧困を削減するかについて話し合われました。会議で採択された宣言文の中では、人類の望む未来について記載され、持続可能な都市も重要な7つの課題の1つとして挙げられました。課題の中では、資源の利



■ 図7 韓国・蔚山の工業団地における産業共生

お隣の国、韓国にある蔚山市は、石油化学、自動車、造船、製紙などの大型産業が集積した、世界でも有数の規模の産業団地です。韓国政府が主導して、廃熱や廃棄物を異なる工場間で利用する産業共生の取り組みが強力に進められています。写真は、廃熱と二酸化炭素を輸送するパイプラインです。このような施設の建設にはまとまった初期投資が必要ですが、燃料消費等を削減できる結果、早ければ1年以内、平均数年以内で投資が回収できるほど収益性が高いことも、蔚山の特徴です。蔚山の産業共生は、国際産業生態学会でも注目されており、多くの論文や研究成果が発表されています。

用効率を高め、環境負荷や貧困を削減することが求められています。

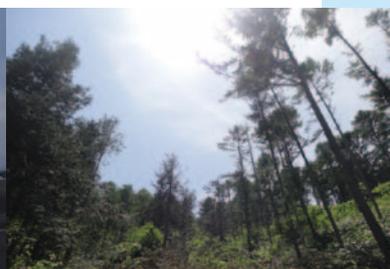
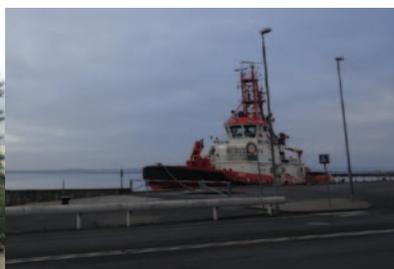
都市の持続可能性を改善する方策の中でも、特に私たちが着目している産業間や、産業と住宅・商業地区、そして都市と自然の共生についての議論が盛んに行われているのは、International Society for Industrial Ecologyという学術会議です。日本語に訳すと、国際産業生態学会ということになります。産業を生態系になぞらえて、その環境負荷を抑える方法を議論する場ですが、その研究対象は産業だけでなく、都市全体や自然も含まれます。2年に1回会議は開催され、これまではヨーロッパと北米が会場となりましたが、2013年に韓国・蔚山市が会場となり、初めてのアジア開催となりました。蔚山の工業団地では韓国政府が主導して産業共生が強力に進められており、世界からも注目されています（図7）。この会議は、国立環境研究所も共催しています。また、隔年の会議の間の年には、アジア太平洋地域の会議が東京や北京で開催されるようになりました。このようなアジアへのシフトは、アジアの都市の重要性を物語っています。

日本では

国内では、環境システム、環境経済・政策、環境科学、環境共生など、環境と名の付く学会が複数存在し、また、エネルギー、廃棄物・資源循環などの学会もあります。都市の持続可能性に係る、低炭素なエネルギー需給システムの研究、資源の効率的なリサイクルに関する研究、持続可能性を向上する取り組みを推進するための、市民意識の研究などが、これらの学会で報告されています。

日本には優れたテクノロジーが存在しますが、これ

今日、限られた都市のスペースに世界人口の約半数が住んでいるとされ、2030年にはこれが60%に上昇するとされています。都市を持続可能な形に変えていくことは、そのまま地球の持続可能性にも直結するとても重要な課題であり、全世界の人々の注目を集めています。



らを活かして国内の、あるいは海外の低炭素都市の構築を推進する研究が、産官学連携で進められています。一方、都市を持続可能な形に変えるという一大事業は、テクノロジーに頼るだけでは遂行できません。日本に古くからある概念である、「もったいない」という言葉が世界でも有名になりましたが、日本独自の文化や価値観を背景に、資源消費を抑制し、資源は様々な形で何度も利用するという、消費スタイルを築くことも、重要な研究テーマです。

行政による取り組みも進んでいます。持続可能な経済社会システムを実現した都市・地域づくりを目指す「環境未来都市」構想が進められ、23の環境モデル都市と11の環境未来都市が選定されました。選定されたのは横浜市、京都市、北九州市といった大都市ばかりでなく、人口が1万人未満の小さな都市も含まれています。例えば、環境未来都市である福島県・新地町では、地域社会を支える情報通信や交通のインフラ整備、地域の産業の環境面にも配慮した持続的な発展などの方策が検討されています。小さな町ですが、大型の火力発電所が町内に立地し、液化天然ガスの受け入れ基地が建設される計画もあり、エネルギーの有効利用で、低炭素化に大きく寄与する可能性があります(図8)。

国立環境研究所では

都市の持続可能性には資源や環境問題以外にも、様々な側面の問題が関与しますが、これらの中から都市の環境問題だけを取り出しても、大気汚染、温暖化、土壌・水質汚染、廃棄物、健康、生態系と様々な問題があります。これらの問題の社会的な解決策を考える社会環境システム研究センターの研究活動を含め、国



■ 図8 新地火力発電所

福島県新地町には、大型の石炭火力発電所が立地しています。東日本大震災による津波の被害を受け、石炭の荷揚げを行う港湾施設をはじめ、多くの被害を受けましたが、現在では復旧して電力を供給しています。将来、液化天然ガスの受け入れ基地も建設されると、更に重要なエネルギーの供給拠点となります。これらのエネルギーを効率よく供給したり、利用したりするしくみを作ることが、持続可能な都市の発展にとって重要な課題となります。

立環境研究所で行われているほとんどの環境研究は、都市の持続可能性に大なり小なり何らかの関係があると言えます。とりわけ持続可能性については、持続可能社会転換方策研究プログラムが実施され、持続可能な社会の構築に必要な対策を生産や消費の面から分析しています。都市に正面から注目している研究としては、環境都市システム研究プログラムが実施され、持続可能な都市の将来シナリオを構築し、そこへ到達するための実効的なロードマップを明らかにすることを目的に、環境技術や施策の研究が行われています。また、東日本大震災以降、福島と東北を中心とする被災地域の持続的な発展を可能とすることを目的に、環境創生研究プログラムが実施されています。前述の新地町と研究所は連携・協力協定を結んでおり、環境と経済が調和する復興のお手伝いをしています。

国立環境研究所における 「都市の持続可能性の向上に関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、都市の持続可能性の向上に関する研究を行っています。ここでは、その中から、都市の資源やエネルギー利用の効率化に関するものについて、そのあゆみを紹介します。

年度	課題名
2008～2010	有機再生廃棄物を対象とする 多層複合型資源循環圏の設計と評価システムの構築
2009～2011	グリーンサプライチェーン・マネジメントの 日中製造業間の国際展開モデルの構築
2009～2013	アジア都市での大気汚染物質排出削減のための 技術導入モデルの開発
2011～2013	アジア都市における 日本の技術・政策を活用する資源循環システムの設計手法
2011～2013	低炭素街区群を支える エネルギー・資源循環システムに関する研究
2012～2013	リサイクル性、維持管理・解体を考慮した 判断基準の研究
2014～	都市廃棄物からの 最も費用対効果の高い資源・エネルギー回収に関する研究
2014～	地域インベントリ解析による 環境成長拠点の評価モデルの開発

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：藤田壮、藤井実、大場真、平野勇二郎、芦名秀一、戸川卓哉、五味馨、中村省吾、大迫政浩、
田崎智宏、稲葉陸太、徐開欽、珠坪一晃、水落元之、岡寺智大、小野寺崇

〈その他の共同研究機関〉

名古屋大学：林希一郎、加藤博和、谷川寛樹

日本大学：伊東英幸

豊橋技術科学大学：後藤尚弘

神戸大学：田畑智博

● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、都市の持続可能性の向上に関するものを紹介します。

NO.42 環境研究 for Asia/in Asia/with Asia

— 持続可能なアジアに向けて

アジアの多くの国や地域では、急速な経済発展と共に、大気汚染、水質汚濁、廃棄物の問題、化学物質の問題、自然破壊、地球温暖化などの問題が同時に深刻化しています。研究所では、これらの問題を解決しつつ、アジアの持続可能な社会を実現することをめざして、研究に取り組んできました。本号では、国境を越えた大気汚染に関する研究、アジアでの河川から海に至る水環境の研究、そしてメコン流域の生態系がもつ機能に関する研究の成果を中心に紹介しています。

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

地球温暖化による深刻な影響を止めるために、将来気温の上昇を産業革命以前に比べて2℃までに抑えるためには、2050年までに世界の温室効果ガスの排出量を少なくとも半減させる必要性が高い——これは世界共通の目標となりつつあります。、研究所が中心となり、2004年から、「脱温暖化2050プロジェクト」を立ち上げ、日本の中長期脱温暖化対策シナリオの構築に向けた研究に取り組んでいます。本号では、この研究プロジェクトの研究成果を紹介しています。

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

下水処理にも省エネ機能を組み込んだシステムの開発が急務となっています。研究所では、嫌気性微生物を利用した低エネルギーで高速処理するとともに、メタンガスを効率よく生成する「創」エネルギーの機能も併せ持つ、新しい有機性排水の処理法の開発に取り組んでいます。本号でこのシステムについて紹介しています。

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

研究所が取り組んできたマテリアルフロー分析の研究の歩みを紹介するとともに、循環型社会への転換に関わる諸施策の立案や実施を支援することをめざす「産業連関表と連動したマテリアルフロー分析手法の確立」を紹介しています。

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

自動車社会が作り上げた化石燃料大量消費から再生可能なエネルギーへの転換、排ガス、騒音への対策を一層進めるとともに、交通体系そのものを過度に自動車に依存しない社会の構築が今始まっています。本号では、研究所が取り組んできた「電気自動車の開発」と「自動車の環境効率評価」について紹介しています。

環境儀 No.55

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2014年12月31日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当 WG: 亀山康子、藤井実、大場真、戸川卓哉、石垣智基、岡寺智大、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

「環境儀」既刊の紹介

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
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.53 2014年 6月	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
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.54 2014年 9月	環境と人々の健康との関わりを探る—環境疫学

●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○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た左側に進もうとする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。