

持続可能な世界に向けた グリーンICTの研究開発

Research and Development on Green ICT for Sustainable World

● 田中 努 ● 塩田哲義 ● 胡 勝治 ● 尾崎光男

あらまし

2015年に、国連総会において2030年に向けた地球全体の「持続可能な開発目標(SDGs: Sustainable Development Goals)」が採択された。更に、2016年11月に開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)では、ゼロ炭素社会実現に向けた「パリ協定」が発効され、世界が共通の課題解決に向けた動きを大きく加速させている。このような状況のもと、地球温暖化対策だけではなく、複雑に絡み合った環境・社会・経済の様々な課題解決への対応が急務になってきている。ICTは、これらの課題解決に有用な手段として捉えられ、これまでに多くの分野で貢献してきた。今後、更に複雑化した課題に早急に対応するため、富士通ではビッグデータを活用した未来予測などを通して、効率的かつロジカルに的確な判断を行い、様々な利用シーンに適用できるICTサービスの提供に取り組んでいる。

本稿では、環境に関わる研究開発のうち、生物多様性保全に向けた「自然資本評価技術」と、地域の特性を見える化し、地域特有の課題抽出や施策効果の予測に活かせる「環境・社会・経済分析技術」を紹介する。

Abstract

In 2015, the Sustainable Development Goals (SDGs) were adopted by the UN General Assembly as a global target to be met by 2030. The 21st session of the Conference of the Parties (COP21) of the UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) was held in November 2016, where the Paris Agreement aiming to realize a low-carbon society came into force, and now the world is gearing up to take steps toward solving the globally shared problem of climate change. Given this background, we must urgently address a multitude of emerging issues, not only about climate change, but also complex social, environmental and economic issues. Information and communications technology (ICT) has been a useful tool to tackle these issues, and successfully applied in many areas so far. For faster responses to more sophisticated problems, Fujitsu pursues the development of ICT services to leverage prediction technology based on big data analysis. The services should offer logical and accurate decision making, with the flexibility of being applicable to a variety of contexts. In this paper, we present two technologies in the area of environmental research: technology to assess natural resources for preserving biodiversity, and technology to analyze the environmental, social and economic aspects of communities, helping to visualize local attributes and to elucidate locally specific problems and predict the effectiveness of measures to be implemented.

ま え が き

2015年に、国連総会において2030年に向けた地球全体の「持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）」が採択された。更に、2016年11月に開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）では、ゼロ炭素社会実現に向けた「パリ協定」が発効され、世界が共通の課題解決に向けた動きを大きく加速させている。

SDGsやパリ協定が目指す持続可能な世界を実現するためには、環境・社会・経済のバランスを取ることが重要である。これまでの世界は経済発展を優先したため、森林や水、資源などを過剰に使用し、自然環境を破壊し、温室効果ガスを大量に排出してきた。そのため、自然の持つ再生能力の限界を超え、地球温暖化や資源の枯渇など、人類が地球上で生き続ける上での重大なリスクを生み出してしまった。リスクを回避し、持続可能な新しい世界を実現するためには、環境起点に立った社会や経済の考え方への転換が必要である。

工業団地新設を例に説明する。図-1 (a) は、従来の工業団地新設の工程を示している。これまで、土地や地域の経済的な効果などを基に開発コストや規模が予測され、開発条件が決められてきた。

一方で、長期にわたる人口や交通事故件数の予測など、社会への影響に対する関心は低く、環境への影響に対しては更に関心が低いとも言われる。そのため、環境影響評価は開発計画の決定後になされるものの、その結果によって開発を変更したり、中止したりするケースはまれである。

これでは、地球温暖化や資源の枯渇を止めることは困難である。図-1 (b) は、これから考えなければならない持続可能な世界を実現するための開発例を示している。その地域における生態系を構成する生物や、土壌・大気・水源などの自然を形成する要素である「自然資本」の考え方などをベースに、環境や社会への影響を算出し開発後を予測することで、環境に対するリスクを回避し、社会や経済に対する効果を引き出す計画を策定できる。環境重視や社会重視など、様々なパターンを予測

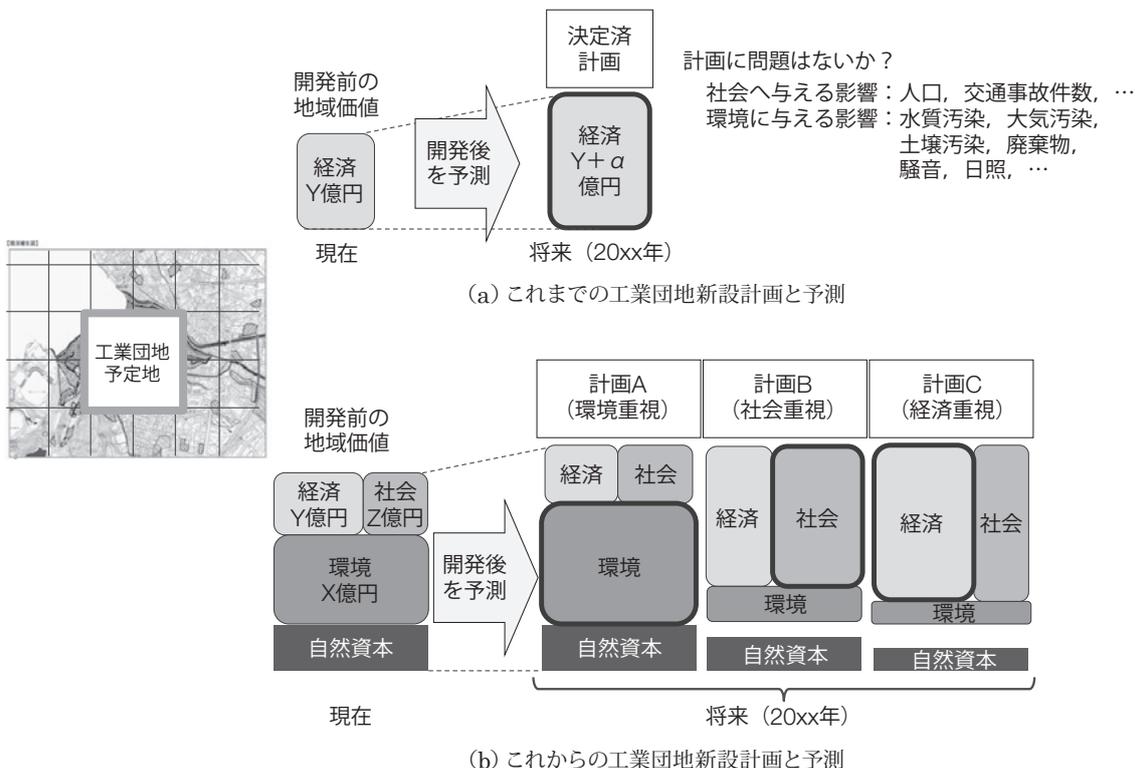


図-1 工業団地新設計画と影響の予測

することで、環境・社会・経済のバランスを考慮し地域特性に応じた計画の策定が可能となる。

このような計画を策定するために富士通研究所が開発したコア技術が、「自然資本評価技術」と「環境・社会・経済分析技術（因果関係による将来予測技術）」である。環境・社会・経済のバランスを取るためには、環境に関わる価値を経済と同じ単位で評価する必要があるが、環境の中でも自然に関する価値を経済の価値と同じ単位で評価する技術が、自然資本評価技術である。次に、同じ単位とした環境・社会・経済の指標を比較検証し、将来の変化を予測するための技術が、因果関係による将来予測技術である。これらのコア技術を統合することで、環境・社会・経済のバランスが取れた開発予測が可能となる。

本稿では、自然が持つ価値の源泉である生物多様性保全の動向と自然資本評価技術の開発状況を報告する。また、地域特性の分析を例として、環境・社会・経済の分析事例と、因果関係を用いた将来予測技術の開発例を報告する。

自然資本評価技術

本章では、生物多様性の重要性、その保全に向けたグローバルな取り組み状況、および保全を推進するための一手段である自然資本会計の導入に必要な自然資本評価技術について述べる。

(1) 生物多様性保全への動向

我々の暮らしは、自然からの様々な恵み（きれいな水や空気、資源やエネルギー、食糧など）を享受することで成り立っている。様々な生物が存在し、相互に関わり合う営み、いわゆる生物多様性を源泉とした恵みは特に生態系サービスと呼ばれている。しかし近年、開発に伴う環境破壊により生物多様性が失われ、生態系サービスは質的・量的に低下している。⁽¹⁾

生物多様性を保全するため、2002年の生物多様性条約第6回締約国会議（CBD COP6）において「2010年までに、貧困緩和と地球上全ての生物の便益のために、生物多様性の損失速度を顕著に減少させる」という「戦略計画」（2010年目標）が採択されたが⁽²⁾達成できなかった。2010年に愛知で開催されたCBD COP10では、新しい「戦略計画2011-2020」の中核を成す愛知ターゲットが採択さ

れ、生物多様性の価値を国家勘定や報告制度に取り込むことが目標の一つに掲げられている。これを受けて、自然資本（例えば、UNEP FI (United Nations Environment Programme Finance Initiative) の分類：水、大気、土壌、動物相、植物相）を会計に取り込む動きが加速し、枠組み作りや評価手法の開発など様々な取り組みが進められている。⁽³⁾⁻⁽⁶⁾

(2) 自然資本評価技術

自然資本のうち、特に生物多様性を成す植物や動物などの存在の価値を見える化し、価値あるものとして認知することが重要である。そこで富士通では、環境・社会・経済に関するオープンデータを活用したWebアプリケーションEvaCva（エヴァシーヴァ）を開発した。⁽⁷⁾ 自然資本の価値に結びつくものとして、EvaCvaを活用して一部の生態系サービスの価値を地図情報や公開情報から算出し、自治体ごとに表示して一般公開してきた（図-2）。既に提案された手法^{(8),(9)}を活用し、農作物や木材などの供給サービスに関しては市場価格法を、^{かんよう}涵養や気候緩和などの調整サービスに関しては代替法などを適用して、経済価値換算を行っている。

生態系サービスの価値を見える化することで、認知度が低かった自然の価値をその自治体の有する資本として位置付け、把握できる。それを産業振興などに活かして地域活性化ができれば、生物多様性保全への適切な投資の促進が期待できる。

また、以下に述べる動植物にフォーカスした生息状態の定量化技術と生態系サービスの経済価値換算技術も加え、動植物の資本価値評価技術を構築し、自然資本会計の実現に取り組む。

(3) 動物の生息可能性予測技術

動植物の生息状態（質や量など）を把握するために、相応の費用や工数を投じた継続的な現地調査によりそれらの生態に関する情報が収集され、データベース化されている。⁽¹⁰⁾しかし、費用や工数には限りがあり、データの信頼性を高めるために専門知識を有する人材が必要になるなどの課題も生じる。特に、植物に比べて動物の生息調査はより困難な傾向にある。

そこで富士通研究所は、新たな現地調査を実施することなく、既存の植生や地形などのデータを

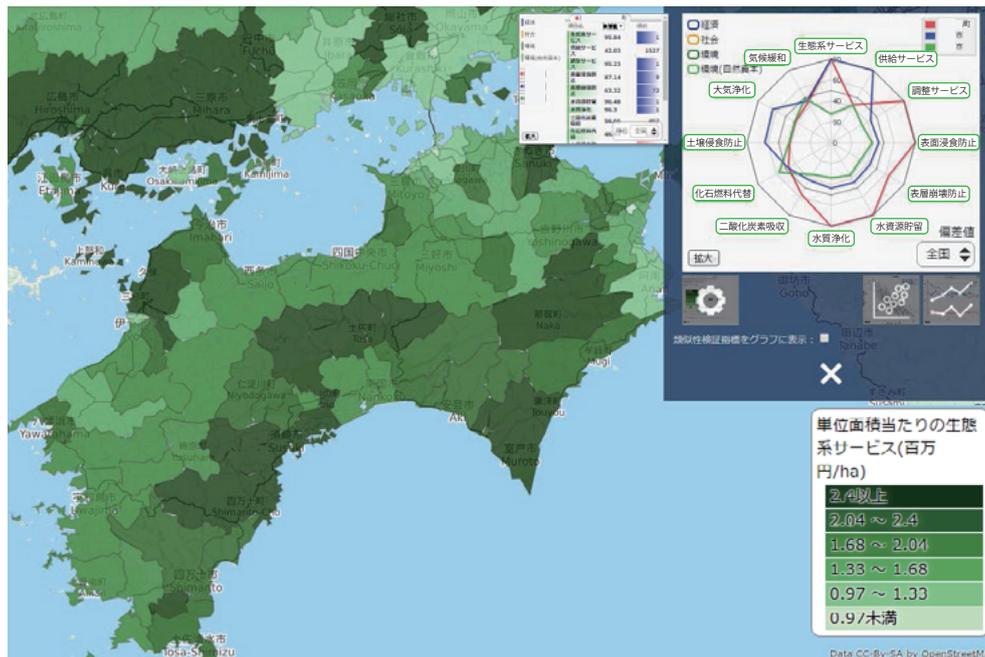


図-2 自治体の生態系サービスの価値(EvaCvaでの表示)

利用し、哺乳動物の生息可能性を予測する技術を開発した。これは動物のエネルギー代謝に基づき、体重から算出される生息密度⁽¹¹⁾の逆数を生息必要面積と仮定し、これと地域における生息に適した領域の面積を比較することで、その地域における生息可能性を予測する技術である。

(4) 生息可能性予測技術の実証と展開

近年、ニホンジカの急増による高山植物や樹木の食害、更に生物多様性の劣化や土砂崩壊などの災害につながる森林荒廃が問題となっている。そこで、山梨県森林総合研究所様の協力を得て、ニホンジカを例に本予測技術の実証を進めている。⁽¹²⁾

生息可能性の予測では、ニホンジカの食性（嗜好植物など）や生息容易な地形（傾斜角）など、対象動物固有の生態情報を生息適性地の抽出条件に設定し、生息可能性を予測した。一方、実証に用いる情報として、山梨県森林総合研究所様がニホンジカの数に関するデータから統計モデルで推定した、10 km四方の地域8か所における生息数などを用いた。これらを比較した結果、生息適性地の抽出条件を適切に設定することで、生息可能数と実証情報との相関性が確認できた。

この予測技術を効率的かつ効果的な生物多様性保全施策の実践に活用できるよう、各種哺乳動物

を対象として、日本全国の生息可能性を予測するアプリケーションを試作した。また図-3に示すように、予測結果を解析し、動物の定住地や移動経路などが推定できるように改良を進めている。

環境・社会・経済分析技術

市区町村などの自治体は、環境・社会・経済のバランスが取れた持続可能な地域を実現するための目標の達成に向けた継続的な施策を必要としている。そのためには、地域の課題を的確に把握し、その課題を解決する効果的な施策の策定が必要になる。

地域の課題を把握・解決するには、地域の現状をデータから客観的に分析して、問題となる項目や改善すべき項目を発見することが重要である。そこで、インターネット上に公開され、自由に使えるオープンデータを活用し、日本全国の1,741の市区町村（2016年4月1日現在）の長所や短所などの特性を明瞭に表示できるEvaCvaを活用した。EvaCvaでは市区町村名を選択することで、地域の特性を表す182項目の指標から、任意に選択した指標の値をレーダーチャートや散布図などに表示し、地域特性を簡便に把握できる（図-2）。またEvaCvaには、Linked Open Data（LOD）に関する技術が活かされており、オープンデータの指標

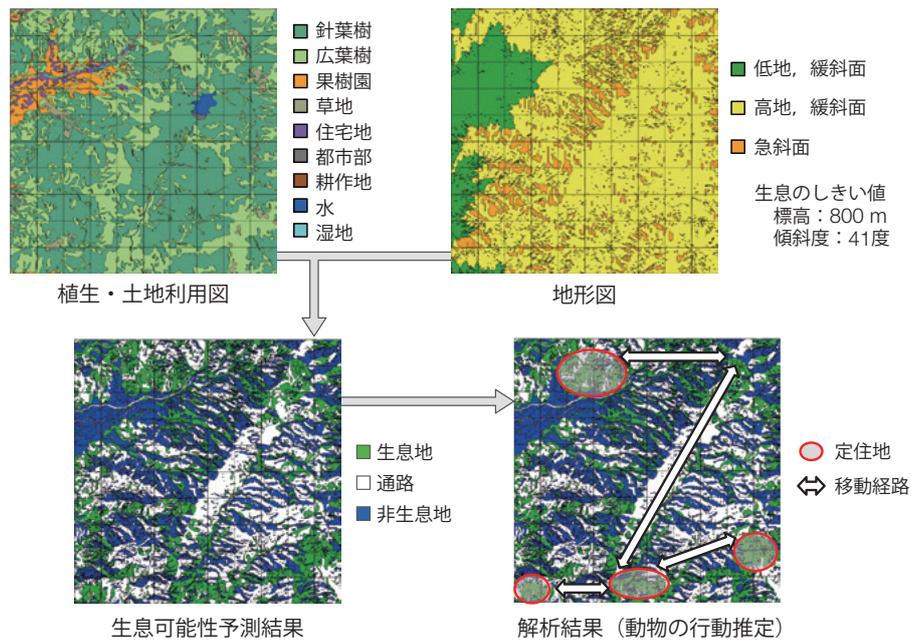


図-3 生息可能性予測技術

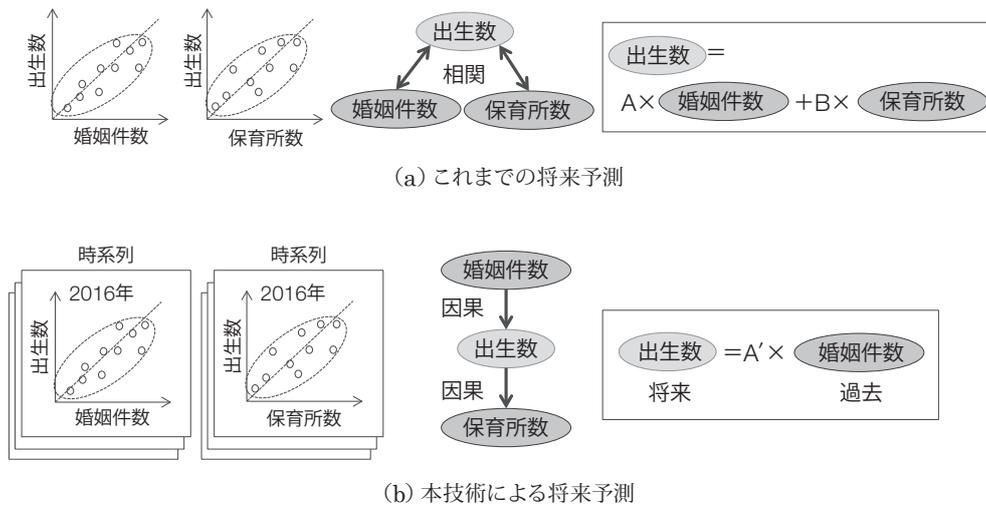


図-4 出生数の将来予測

値をLODとして扱うことで、利用者が所有するほかのデータと掛け合わせた分析も容易に行える。

更にEvaCvaは、類似する自治体を検索する機能を実装している。具体的には、類似性を検証したい指標を選択し、指標の偏差値を基に類似自治体を抽出する。また類似性に加えて、課題と設定した指標の偏差値を考慮することで、類似する自治体の中で課題解決済みと推定される自治体の検索もできる。データを活用し、導入効果を事前に定量予測できれば、投資に対する客観的評価につな

がり、効果的な施策を優先的に効率良く行える。

データを活用して施策の効果を予測することの難しさは、原因が結果に影響するという因果の向きを考慮しなければならないことである。これまでの予測手法は、強い相関関係のあるデータを用いていた。例えば、図-4 (a) に示すように出生数を予測する場合、強い相関関係となる婚姻件数と保育所数を使って予測できる。しかしこの場合、保育所数を変化させると出生数が変化するように計算されるが、実際は出生数が変化したため

保育所数が変化したとも考えられる。つまり、相関関係だけで変化の影響を予測することは誤った判断を招き、無駄な施策を行うリスクが伴う。そこで今回、時系列データから指標間変化の時間遅れ（時間差）を考慮した相関係数を算出することで、因果を推定する手法を考案した⁽¹³⁾ これにより、図-4 (b) に示すように婚姻件数の変化が要因となって出生数が変化し、出生数の変化により保育所数が増えるという因果の向きを推定できた。

この手法を用いて、全国1,741の自治体で統一されたデータが公開されている2000年から2013年までの統計データを基に因果関係を推定した。その結果、232の項目について因果関係があると推定され、それらの因果関係に基づいた因果ネットワークを構築できた（図-5）。例えば、出生数の変化は婚姻件数や転入者数などの変化が原因であると推定された。

この因果のネットワークを利用すると、施策の影響の大きさを算出できる。まず、ネットワーク上の全ての因果関係について、多変量の時系列分析を行うことにより、課題となる指標の予測を行う。ここで得られた課題指標の予測値Xは、施策を行わなかった場合の値となる。次に、導入予定の施策に対応する指標を、開始年以降に施策を計画している値に変更する。その後、同じようにネットワーク全体で時系列分析を行うことで予測値Yを得る。XとYの差が、因果ネットワーク全体の波及

を考慮した施策の効果と考えられる。

図-6は、宮城県A市の過去のデータを用いて本手法を検証した結果である。2007年以降に宅地造成が行われ、転入者の増加に伴い人口が増えたが、この図は施策効果を2006年に遡った時点で予測したものである。2000年から2006年までの実績データと、2007年以降の実際の転入者のデータを用いて2007年以降の人口を予測した結果、人口増加を年平均1.1%の誤差で推定できることが分かった。

このように、自治体の計画立案時に因果を考慮した予測を施策効果予測に加えることで、大きな成果を期待できる施策から優先的に導入できるようになる。

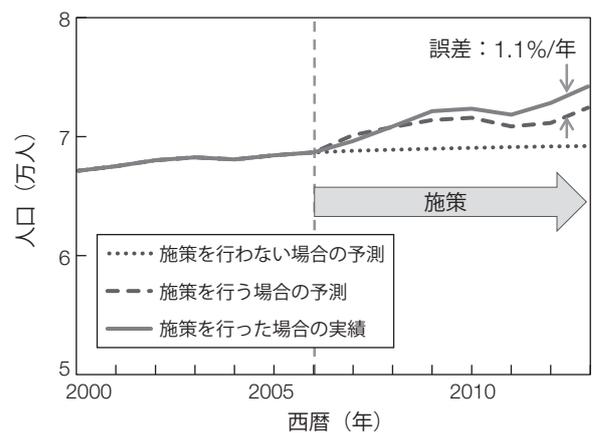


図-6 宮城県A市の人口に対する予測値と実績値の比較

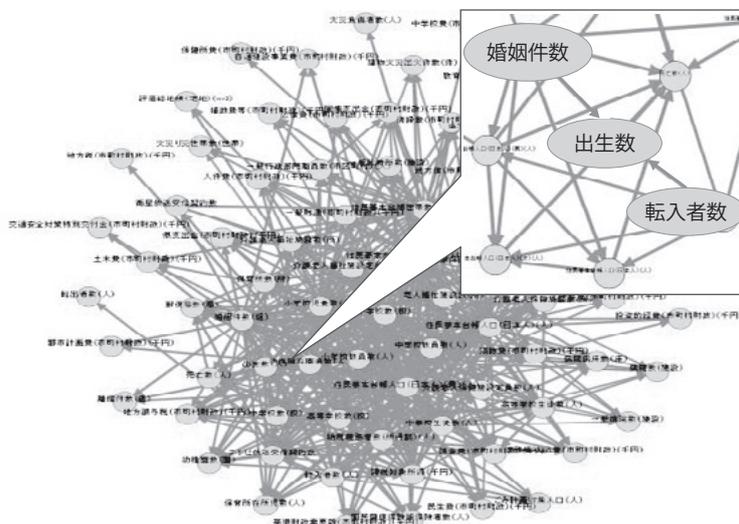


図-5 因果推定結果に基づいた因果ネットワーク

む す び

持続可能な世界の実現に向け、富士通はICTを使った貢献を常に考え続けている。本稿では、持続可能な世界に向けた研究開発例を紹介した。

富士通では、愛知ターゲットの一つである自然資本会計実現に向け、自然資本の中でも算出が難しい動植物の経済価値換算技術の開発を進めている。動植物の経済価値換算では、植物と動物の関連性分析が重要であり、この関連性を示す技術として動物の生息可能性を植生から予測する技術を開発した。今後、これらの技術開発を通じて自然資本会計を実現し、生物多様性保全の加速にも貢献していく。

環境・社会・経済を包括的に考えて将来を予測するためには、個別に将来を予測するのではなく、様々な要因の関連性から多角的に考える必要があり、因果関係に基づいた将来予測手法の研究を進めている。二つの時系列データの相関係数を調べることで、原因と結果の関係を自動的に推定する技術を開発し、232の環境・社会・経済に関する項目間の因果ネットワーク構築に成功した。これにより、因果関係に基づいた将来予測が可能となった。現在は、データが多くニーズの高い出生率などの人口系の社会課題に関して、施策効果の予測を中心に検証を進めている。

今後、様々な課題を対象に予測検証を行い、環境課題の原因分析と将来予測に活用していく。更にこれらの技術を統合し、開発計画において環境・社会・経済のバランスが取れた予測を可能とすることで、富士通は持続可能な社会の実現にICTで貢献していく。

参考文献

(1) 環境省：生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書。生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会，平成28年3月。
<http://www.env.go.jp/nature/biodic/jbo2.html>

(2) 環境省：世界における生物多様性の現状－GBO3の概要。平成23年度 第1回 人と自然との共生懇談会 資料，2011年7月11日。

(3) United Nations et al. : System of Environmental-Economic Accounting 2012 Central Framework.

2014.
http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaRev/SEEA_CF_Final_en.pdf

(4) European Commission et al. :System of Environmental-Economic Accounting 2012 Experimental Ecosystem Accounting.
http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/eea_white_cover.pdf

(5) World Bank:Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services (WAVES).
<https://www.wavespartnership.org/>

(6) Natural Capital Coalition : Natural Capital Protocol. 2016.
<http://naturalcapitalcoalition.org/protocol/>

(7) 富士通，富士通研究所：Linked Open Data技術を適用した地域の特性を発見するツールを公開。2014年12月11日。
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2014/12/11.html>

(8) 三菱総合研究所：地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価に関する調査研究報告書。平成13年11月。

(9) 農業総合研究所農業・農村の公益的機能評価検討チーム：代替法による農業・農村の公益的機能評価。農業総合研究，第52巻第4号，p.113-138。
<http://www.maff.go.jp/primaff/koho/seika/nosoken/nogyosogokenkyu/pdf/nriae1998-52-4-4.pdf>

(10) 環境省環境総合データベース：自然環境保全基礎調査。
<http://www.env.go.jp/sogodb/view.php?sid=016&id=002>

(11) R. H. Peters et al. :Relations between Individual Size and Mammalian Population Density. The American Naturalist, Vol.124, No.4, p.498-517, 1984.

(12) 富士通研究所：生物多様性保全に向けて、山梨県でニホンジカの生息数を予測する技術の実証を開始。2016年1月18日。
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2016/01/18-2.html>

(13) K. Nakazawa et al. :Future Prediction of Regional City Based on Causal Inference Using Time-Series Data. Proceedings of the 6th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, p.203-210, June 2016.

著者紹介



田中 努 (たなか つとむ)

R&D戦略本部
環境科学技術プロジェクト
ICTを使った環境関連技術の研究開発
に従事。



塩田哲義 (しおた てつよし)

知識情報処理研究所
人工知能研究センター
人工知能基盤プロジェクト
環境・社会・経済分析技術に関連する
研究に従事。



胡 勝治 (えびす かつじ)

R&D戦略本部
環境科学技術プロジェクト
資源効率の評価技術に関連する研究開
発に従事。



尾崎光男 (おざき みつお)

R&D戦略本部
環境科学技術プロジェクト
自然資本評価に関連する研究に従事。