

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTAAC T CTCAGACC

CRDS-FY2009-SP-10

戦略プログラム

地域環境・生態系予測モデルの統合的研究

～気候変動適応策立案を目指して～

STRATEGIC PROGRAM

Synthetic Study on Forecast Models of
Regional Environment and Ecosystems

- Towards the planning of adaptation measures for climate change -



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

研究開発戦略センターでは、国として重点的に推進すべき研究領域や課題を選び、以下3種類いずれかの戦略プロポーザルとして発行している。

戦略イニシアティブ

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

戦略プログラム

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

戦略プロジェクト

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

エグゼクティブサマリー

地球規模の気候変動が地域の生態系にどのような影響を与えるのか、観測およびモデル化を行い予測することによって、生態系の再生と保全を促進し、地域の持続可能性に寄与する。これを達成するため、2種類の統合を行う統合的研究の推進を提案する。まず、知識の創造と技術の創出と問題解決の支援を統合し、さらに個別の生態系モデルを流域圏モデルへと統合する。

人類の活動に影響を及ぼし、その存続の脅威にもなりうる環境問題の解決は、社会の期待であり、科学技術の貢献が求められている。この問題の解決のための領域が環境科学である。問題が地域レベルの問題であっても、地球レベルの問題であっても、問題の解決を目指さない限り、環境科学に存在意義はないと言える。

気候変動は、現在人類が抱える環境問題の中で最大のものである。気候変動によって、地域社会の生存基盤である生態系がどのように変化するか、その変化にどのような予防的対策すなわち適応策をとればよいのか。この真摯な問いに、科学技術は答えなければならない。

そのため、気候変動が地域に及ぼす影響を予測するモデルを開発し適応策を立案する統合的研究を推進する。特に、水・物質循環、生活および経済の活動が行われる流域圏を対象として、一次産業や居住などの社会活動と関わりのある陸上・淡水・海洋生態系を選択する。そして、気候要素や生物種の分布に関する時間的変化を観測するとともに、多重ストレスに対する生物種の応答過程を示すモデルを構築し、生物多様性や生態系サービスの時間的変化のシミュレーションを行う。その結果に基づき、生態系を保護・管理する方策を立案し、生態系の再生・保全のための具体的行動を促進する。最終的には、それぞれの生態系モデルを統合して、流域圏の系全体としての整合性を図る。これら一連の取り組みには、生態学者や工学者、技術者、自治体・住民など、多様な主体の参加が必要である。

気候変動問題はこれまで地球規模での取り組みを中心に、解決に向けた努力が積み重ねられてきた。その解決をさらに加速させるには、各地域における努力が不可欠である。この地域を対象とした新しいアプローチを推進することによって、科学技術は知識の創造とともに問題の解決に貢献するものとして大きく発展する。同時に、地域社会の生存基盤の保全と持続可能性を実現する。さらに、日本において蓄積された手法や方法論などの成果を他の地域や国での取り組みに適用することによって、地球規模での持続可能性に寄与する。

Executive Summary

Effects of global climate change on regional ecosystems should be forecasted by observation and modeling. Such study is necessary to accelerate revitalization and preservation of ecosystems and to contribute for regional sustainability. In order to facilitate it, the promotion of the synthetic study is proposed, synthesizing following two issues. At first, creation of knowledge & technology and support for problem solving will be synthesized. Furthermore, each ecosystem model will be synthesized into a basin area model.

It is the social expectation that environmental problems, which may effect on the human activities and to threaten the survival, are resolved, and science and technology are expected to contribute to resolving them. The research field for the resolution is environmental sciences. Even though problems are on the regional level or on the global level, it can be said that environmental sciences have no reason of their existence unless they aim at problem solving.

Climate change is the most problem among the environmental problems facing humanity at the present time. How an ecosystem, the base of life in the regional society, shifts by climate change? Which of adaptation measures for preventing these shifts should be chosen? For these serious questions, science and technology must provide an answer.

In light of the above, the synthetic study should be promoted on development of models for estimating effects of climate change on a region and to plan the adaptation measures. Details of the study are as follows:

First, focused on a basin area which is for water and material circulations, human life and economic activities, some land, freshwater, and ocean ecosystems are selected which have a close relation to social activities such as primary industries and human living. Then, trends in climate change and the distribution of biological species is observed, as well as a model representing the response process of biological species against the multiple stresses is built up, and trends in change of biological diversity and ecosystem services are simulated. Based on these results, some measures to protect and control the ecosystem are planned, and some concrete actions to revitalize and conserve the ecosystem are promoted. And finally, combining each ecosystem model, the total system of a basin area will be conformed.

In order to promote the study, participation of various stakeholders is necessary, such as ecologists, engineering scientists, engineers, local governments and residents.

STRATEGIC PROGRAM

Synthetic Study on Forecast Models of Regional Environment and Ecosystems

Against climate change, many efforts have been accumulated until now mainly on global measures. In order to enhance actions against this issue, the efforts in each region should be strengthened. Science and technology will develop to contribute for problem solving as well as creation of knowledge through the promotion of the proposed approach focusing on region. At the same time, the approach will realize the conservation of living base and sustainability in the regional society. Moreover, it will contribute to the global sustainability by providing methods and tools developed in Japan applicable to studies in foreign countries and regions.

目 次

エグゼクティブサマリー

1. 提案の内容	1
2. 研究投資する意義	3
3. 具体的な研究開発課題	5
4. 研究開発の推進方法	7
5. 科学技術上の効果	8
6. 社会・経済的效果	9
7. 時間軸に関する考察	10
8. 検討の経緯	11
9. 国内外の状況	16
謝辞	18
参考文献	18

1. 提案の内容

地球規模の気候変動が地域の生態系にどのような影響を与えるのか、観測およびモデル化を行い予測することによって、生態系の再生と保全を促進し、地域の持続可能性に寄与する。これを達成するため、2種類の統合を行う統合的研究の推進を提案する。まず、知識の創造と技術の創出と問題解決の支援を統合し、さらに個別の生態系モデルを流域圏モデルへと統合する。

生態系は、地域の持続可能性を支える基盤である。生態系は地域社会に対して、豊かな生活の基本資材を提供し、健康や安全を育み、社会的な絆を培うなど、様々な福利をもたらしている。しかし現在、気候変動によって、この生態系サービスを持続的に享受することが危ぶまれている。すでに気候変動による生態系への被害が各地域で顕在化し、地域の持続性を脅かしつつある。

気候変動は、現在人類が抱える環境問題の中で最大のものである。生存の基盤を自らの行為によって異変させているという事実に人類は直面している。この問題を解決するには、地球規模での異変を観察するだけでなく、その異変にどう対応するのか地域レベルで検討して行動することが求められている。

気候変動によって、地域社会の生存基盤である生態系がどのように変化するのか、その変化にどのような予防的対策すなわち適応策をとればよいのか。この真摯な問いに、科学技術は答えなければならない。

現在、日本の生態学研究のほとんどは、対象分類群ごとに研究者あるいは小規模な研究グループが散在して推進されている。その研究成果は、生態系に対する知識となって蓄積される。地域の持続性を脅かす問題を解決するためには、この知識を活用し、具体的な行動に結びつける必要がある。すなわち、知識を創造する研究とともに、この知識を活用する技術を創出し、問題解決のための行動を支援する研究開発を同時に推進しなければならない。このような3つのフェーズの研究開発の統合を図る研究の推進が、問題を解決し地域の持続性を維持する。

日本の地域社会は、主に流域圏に形成されている。流域圏は、人類の生命維持に欠かせない水の供給を受けられることから、古くから生活圏として利用されてきた。また、水系を通じて山間域から沿岸域が結びついており、環境に影響を及ぼす様々な物質が循環する単位でもある。このことから、本統合的研究では、まず、国内の流域圏において、特に一次産業や居住などの社会活動と関わりのある陸上・淡水・海洋生態系を対象とする。

具体的には、流域圏において生物多様性が高く保全の必要性が高い生態系をいくつか選択する。それらを対象に、気候要素や生物種の分布に関する時間的変化を観測する。同時に、気候要素や社会活動などの多重ストレスに対して生物種がどのような応答を示すのか、その過程を示すモデルを構築する。そして、流域や流域圏における土地利用の変化、生物種の分布の変化、農林産物の収量や漁獲量の変化などのシミュレーション手法を構築し、生物多様性や生態系サービスの時間的変化を明らかにする。その結果に基づき、生態系を保護・管理する方策を立案し、生態系の再生・保全のための具体的な行動を促進する。まずは、

それぞれの生態系を対象にした個別生態系モデルを作成し、最終的には、それぞれの個別生態系モデルを統合して、流域圏の系全体としての整合性を有する統合型モデルに進化させる（図1）。

このように、知識の創造と技術の創出と問題解決の支援の統合と各生態系モデルの統合を目的とする、地域の持続可能性に寄与する統合的研究を推進するには、地域環境・生態系に関する問題を共有してその解決に取り組む研究コミュニティを形成しなければならない。フィールド研究を行う生態学者やモデル構築を行う工学者、予測される被害への適応策を検討する技術者、地域で実際に行動する自治体・住民など、多様な主体の参加が必要である。

気候変動問題はこれまで地球規模での取り組みを中心に、解決に向けた努力が積み重ねられてきた。その解決をさらに加速させるには、各地域における努力が不可欠である。この新しいアプローチを推進することによって、科学技術は知識の創造とともに問題の解決に貢献するものとして大きく発展する。同時に、地域社会の生存基盤の保全と持続可能性を実現する。さらに、日本において蓄積された手法や方法論などの成果を他の地域や国での取り組みに適用することによって、地球規模での持続可能性に寄与する。

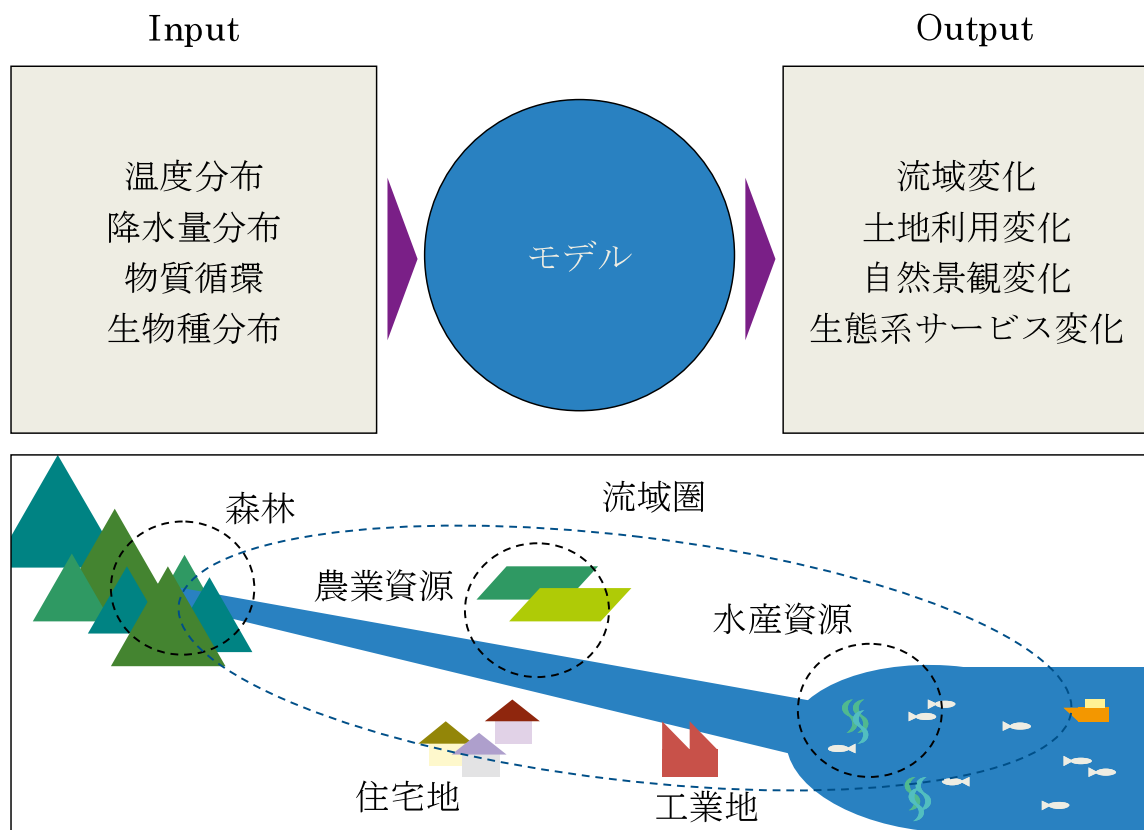


図1. 気候変動適応策立案のための地域環境・生態系予測モデル。

2. 研究投資する意義

人類の活動に影響を及ぼし、その存続の脅威にもなりうる環境問題の解決は、社会の期待であり、科学技術の貢献が求められている。この問題の解決のための領域が環境科学である。すなわち、環境科学は基本的に問題解決型の科学である。問題が地域レベルの問題であっても、地球レベルの問題であっても、問題の解決を目指さない限り、環境科学に存在意義はないと言える。そして、現時点における最大の問題は、現在の人間活動が非持続型であるとしか言えない、という事実である。

すなわち、環境問題の究極の解は、地域社会と地球社会とを持続可能型に変える方法を提案し、問題解決と環境保全を同時に実現することにある。持続可能性の実現には多くの要素が存在している。気候変動のみならず、例えば、化石燃料をはじめとする地下資源の限界も重要である。本提案が直接の目的とする「持続可能性」とは、次世代の人類が生態系サービスを楽しむよう自然を守ることである [1]。生態系サービスを持続的に享受できることは、人類の生存には不可欠な基盤的条件であり、社会はこれを強く要望している。この要望に応えることが、科学技術に求められており、環境科学への要請である。

環境問題とは、人類の活動による周囲の環境の変化によって発生した問題である。大気汚染、騒音、廃棄物問題など多岐にわたるが、大きく2つに分類できる。一方は、局地的な自己修復能力を超えた問題であり、公害やごみ問題が含まれる。もう一方は、地球の自己修復能力を超えた問題であり、地球温暖化はこれに相当する。

地球上において、最大の環境問題が気候変動問題である。気候変動問題とは、大気中の温室効果ガスの増大による降水量と気温の変化、それに伴う植生の変化がもたらす悪影響を指す。その影響は、水循環・水資源、農林水産業、人類の健康、産業など、社会において極めて広い分野に及ぶ。

2007年、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は第4次評価報告書 (AR4) を発表し、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」ことを科学的に示した [2]。この温暖化の影響評価は、国際社会において重要政策課題と位置づけられている。IPCC AR4 が指摘するように、これまでの研究開発の成果によって、現在、地球全体の気候変動、特に気温を対象とした数値モデルはほぼ確立しつつあると理解されている [3]。しかし、各地域が気候変動によってどのような影響を受けるのか、予測する手法はまだ確立されていない。特に、地域を支える自然生態系に対する影響は社会ニーズが高い反面、明確な評価手法が確立されていないのが現状である。

気候変動が自然生態系に与える影響はすでに顕在化している [2]。世界的な影響の証拠として、陸域生態系における春季現象の早期化、植物種及び動物種の生息範囲の極方向や高標高方向への移動が挙げられている。IPCC AR4 は、これらの現象について、最近の気候変動に関連していることは確度が高いと指摘している。日本においても数多く報告されている。高山植物の減少、サンゴの白化現象、開花の早まりや紅葉・落葉の遅れなど、生物の季節活動への影響がすでに起こっている。

気候変動の被害は地域レベルで発生する。すなわち、気候変動問題は各地域の持続可能性に概ね負の影響を与える。また、多くの生態系への影響は気候変動単独ではなく、ほか

の人為的影響との複合作用で現れる。この点を考慮すると、気候変動問題の解決のためには、特定の地域においてどのような被害が発生するかを予測し、予防的な対策をとっておく必要がある。特に、日本の場合、急激な人口変動と高齢化、過疎化が予測され、これに伴う植生の変化への影響を含めて検討する必要がある。

この問題意識は、多くの自治体の行政担当者によって共有されている。しかし、現在の環境科学は、これに応えることができないままである。

気候変動が地域に及ぼす影響を予測するモデルを開発し適応策を立案する統合的研究を推進することによって、環境科学はその使命を真に達成でき、また知識の創造と問題の解決に貢献する新興・融合科学技術 [4] が発展する。また、その成果は、気候変動による生態系の変化への適応策を提示することによって、地域社会の生存基盤の保全と持続可能性に寄与する。ひいては地球の持続可能性に寄与し、気候変動問題に対する地球規模での協調・協力に貢献すると期待される。

コラム：持続可能性と生態系サービス

持続可能性とは、「次世代の人類が生態系サービスを享受できるよう自然を守ること」である、と米国生態学会によって定義されている。国際連合の提唱によって 2001 年から 2005 年に行われたミレニアム生態系評価において、生態系サービスは以下の 4 つに分類されている [1]。

- ・ 供給サービス：食料、水、木材と繊維、燃料など
- ・ 調整サービス：気候調節、洪水制御、疾病制御、水質浄化など
- ・ 文化サービス：審美的／精神的／教育的／娯乐的価値など
- ・ 基盤サービス：栄養の循環、土壌の形成、一次生産など

3. 具体的な研究開発課題

気候変動が地域環境・生態系に及ぼす影響に対して適応することによって地域の持続可能性を実現するには、図2が示すように、科学（Science; S）と工学（Technology; T）と行動（Action; A）、そして社会・自然（Work; W）の4つの主体が問題意識を共有して、ともに連携協力して問題の解決に取り組む必要がある [5]。

科学技術がこの取り組みを進展させるためには、地域環境・生態系予測モデルの統合的研究を推進しなければならない。この統合的研究は、科学による分析的研究、工学による構成的研究、行動を促す社会への働きかけ、の3つの研究から構成される。それぞれの研究の目的は、(1) 気候変動が生態系へ及ぼす影響の観測・分析、(2) 生態系モデルおよびシミュレーション技術の開発、(3) 生態系の保護・管理方策などの適応策の立案、である。それぞれの具体的な研究開発課題は以下の通りである。

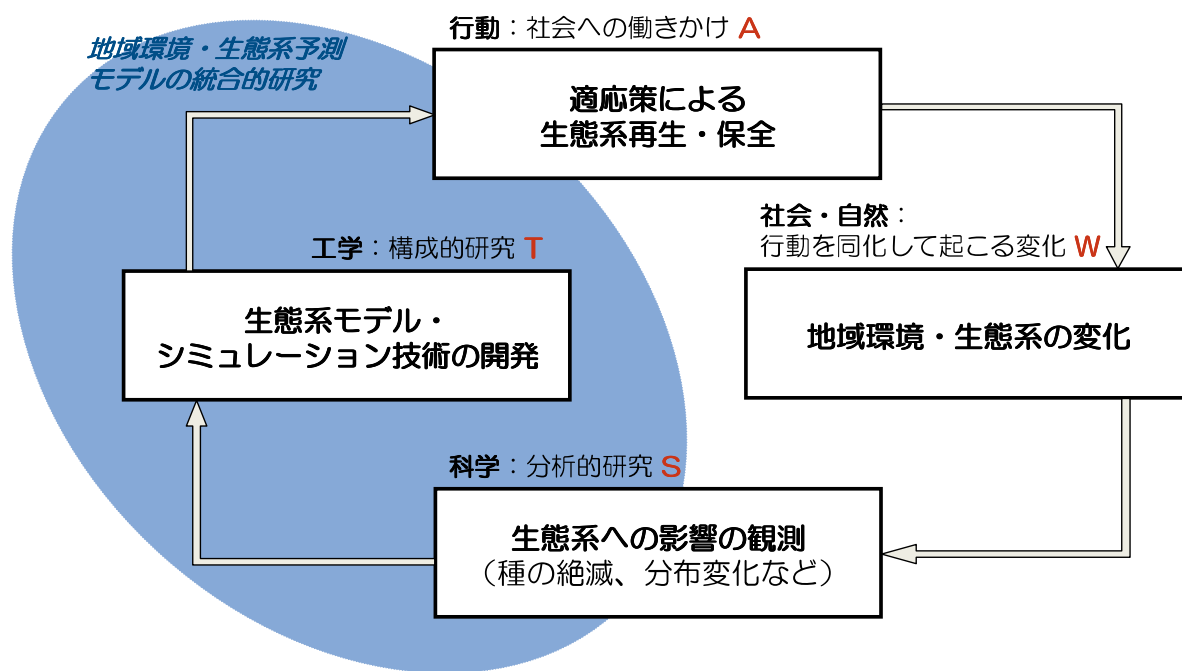


図2. 気候変動が地域環境・生態系に及ぼす影響への適応のための研究。

3. 1 気候変動が生態系へ及ぼす影響の観測・分析

流域圏において生物多様性が高く保全の必要性が高い生態系を対象として選択する。気候変動が地域環境へ及ぼす影響を明らかにするため、特に一次産業や居住などの社会活動と関わりのある陸上・淡水・海洋生態系を対象とする。

選択した生態系に対して、気温・水温、降水量、構成する代表的な生物種の分布や機能の時間的变化を観測してデータを構築する。生物種ごとの生息・生育地や種間関係を考慮して観測項目と観測手法を決定し、既存の取り組みとの連携を図りつつ、長期観測あるいは広域モニタリングを行う。得られたデータは汎用性・互換性の高い形式で記述し、各種

データやモデルとの統合がより容易にできるようにする。具体的な課題例は以下の通りである。

- ・ 生物種の生態行動長期観測・広域モニタリング
- ・ 汎用性・互換性が高い観測データの構築
- ・ 長期時系列観測データの取得とそのデータベース化

3. 2 生態系モデルおよびシミュレーション技術の開発

対象とする生態系において、気候要素や社会活動などの多重ストレスに対して生物種がどのような応答を示すのか、その過程を示すモデルを構築する。生態系を構成する様々な要素の時間的変化を精緻に表現することは目的としない。気候変動への適応策の立案に資するため、数十年のスケールでの生物種の分布変化など、生態系全体の変化傾向を予測することを目指す。気候変動や生態系変化などを観測するフィールド研究との整合性を図り、予測精度を高める。また、予測結果に基づいて、流域や流域圏における土地利用の変化、生物種の分布の変化、農林産物の収量や漁獲量の変化などをシミュレーションするための技術を開発する。将来的には、構築した生態系モデルを統合し、流域圏の系全体を表すモデルを開発する。具体的な課題例は以下の通りである。

- ・ 各種観測データと生態系モデルとの統合による系全体の変化予測
- ・ 生態系全体の変化傾向の評価指標の探索
- ・ 生態系サービスの時間的変化のシミュレーション技術の開発
- ・ 生態系モデルの統合による流域圏の系全体のモデル化

3. 3 生態系の保護・管理方策など予測される影響に対する適応策の立案

地域社会の生存基盤である生態系の変化予測のシミュレーション結果の評価を行い、適応策を検討する。多重ストレスに対してどのような応答を示すのか、その過程を解明して、それを制御する指針を立案する。また、気候変動によって一次産業や居住などの社会活動そのものも変化することが予測される。この変化が生態系に与える影響についてもシナリオ分析を行い、シミュレーション結果とあわせて検討することが望ましい。まずは各生態系を対象に進め、最終的には流域圏全体の評価を行う。具体的な課題例は以下の通りである。

- ・ 系全体の多重環境ストレスに対する応答過程の解明と制御指針の立案
- ・ シナリオ分析による居住の変化（特に中山間地、過疎地など）が生態系に与える影響の予測とその適応策の検討
- ・ 気候変動が農業や漁業に及ぼす影響の評価
- ・ 温暖化による農業用水および工業用水に関するリスク評価
- ・ 自然エネルギーの生産予測やリスク評価
- ・ 感染症リスクの予測評価

4. 研究開発の推進方法

4. 1 新興・融合科学技術の推進

気候変動が生態系に及ぼす影響を予測するモデルを開発するための新興・融合科学技術を推進する。具体的には、気候変動や生態系変化などを観測するフィールド研究と数理解析・モデリングとの連携協力を図り、まず、流域圏において生物多様性が高く保全の必要性が高い生態系を選択する。この選択は、流域圏の生態系を対象とした研究開発の実績を有する研究者が自主的に行うことが望ましい。そして、どのような要素についてどのようなデータを構築し、モデルに組み込んでいくのかなど、適切な研究手法やアプローチを具体化する。その成果に基づき、データベースやソフトウェアなどを開発する。データ解析に基づくシミュレーション結果と実際の生態系におけるメカニズムを連結するツールなどの基盤を確立する。

この新興・融合科学技術をさらに発展させ、確立した手法や方法論を他の地域や国での取り組みに適用する。それに伴い、予測技術としての適用可能性が拡大し、研究者コミュニティが拡大する。そして、予測技術を汎用性の高いツールとしてパッケージ化し、その効果の検証や新たな研究課題の導出などを進める。

4. 2 問題意識を共有するネットワークの構築

気候変動にどのように対応して地域の持続可能性を実現するのか、問題意識を共有した広範な主体からなる研究コミュニティを形成する。そのため、地域で実際に研究に取り組む大学や研究者・技術者と具体的な対策を立案して行動する自治体や住民が、それぞれの視点から問題を提起して共に議論する場を設けることによって、各主体間のネットワークを構築する。また、社会の期待に応える統合的研究をより効果的に推進するため、地域と全国との大学間・研究者間で問題解決に向けた具体的手法や方法論を議論することによって、ネットワークを地域から全国へ拡大する。

研究手法や成果については、研究者個人への帰属とコミュニティ内の共有化とのバランスを図る。例えば、観測結果の所有権については観測者に配慮する一方、そのデータは原則、統合的研究に参加するコミュニティの共有財産として扱うこととする。

4. 3 問題解決への貢献度の評価

研究開発の目的である、地域レベルでの気候変動問題の解決に対する貢献度によってその評価を行う。発表した論文や特許の数だけでなく、気候変動が地域に及ぼす影響を予測する技術や理論の創出、新たな手法の開発などを積極的に評価する。また、問題解決に取り組む人材を育成するため、ポスドクや若手研究者に対して自治体や NGO・NPO などの雇用を提供し、大学や研究所で実際に研究するだけでなく具体的な対策を立案して行動する機会を拡大する。

5. 科学技術上の効果

5. 1 気候変動問題の解決への貢献

気候変動問題に対して、科学技術はこれまで主に、地球規模での現象の解明と緩和策の立案に寄与してきた。その解決をさらに加速させるには、各地域における影響の予測と適応策の立案が不可欠である。特に、日本の場合、急激な人口変動と高齢化が予測され、これに伴う植生の変化への影響を含めて地域ごとに検討する必要がある。この新しいアプローチを推進することによって、科学技術は気候変動問題の解決により一層の貢献ができる。

5. 2 環境科学の使命の達成

環境問題の究極の解は、地域社会と地球社会とを持続可能型に変える方法を提案することにある。そのためには、環境の異変を予測し、予防的な対策を行うことが必須である。この問題意識に応えるためには、新たな知識を創造する研究だけでなく、この知識を活用する技術を創出し、問題解決のための行動を支援する研究開発を同時に推進しなければならない。このような統合的研究に取り組むことによって、環境問題を解決するという環境科学の使命に対する理解が科学技術コミュニティに浸透し共有される。そして、環境科学が環境問題を解決するための科学技術領域としてその使命を真に達成できる。

5. 3 新興・融合科学技術の発展

気候変動が地域に及ぼす影響評価は、地球規模で社会の期待が高まっている。例えば、農林水産業や生態系に及ぼす影響、農業用水および工業用水に関するリスク、自然エネルギーの生産とそのリスク、感染症リスクは、地域の持続可能性にとって重要な問題であり、事前に予測して適応策を立案すべきである。この期待に応える統合的研究を推進することによって、知識の創造と問題の解決に貢献する新興・融合科学技術が発展する。そして、気候変動のほかにも人類が直面している、資源・エネルギー、食料、健康、防災対策などの複雑で困難な問題にも取り組むことによって、科学技術がそれらの解決を加速できる。

6. 社会・経済的効果

6. 1 地域における気候変動に対する適応策の促進

各地域において、科学的な予測結果に基づいて気候変動による被害を予見して、予防的対策すなわち適応策をとることができる。特に、地域社会の生存基盤として機能する生態系がどのように変化するか、シミュレーション結果を評価した上で、その変化にどのように適応するか、各地域の実情に応じた実行可能な具体的対策を立案できる。

6. 2 地域の持続可能性の実現

地域での社会活動に関連する生態系が気候変動によってどのように変化するか、科学的な予測結果を得ることによって、各地域は環境対策だけでなく、気候変動に適応した産業構造、開発計画、経済発展等の将来像を、科学的な予測やシナリオ分析に基づいて検討できる。この検討を通じて、生態系再生・保全を促進するとともに、生態系サービスを持続的に享受する地域の姿を具体的に描くことによって、研究者・技術者だけでなく、自治体や住民が具体的な対策を立案して行動することが可能になり、地域の持続可能性が実現される。

6. 3 地球規模での協調・協力への寄与

気候変動問題の解決に向けた取り組みは、これまで海洋・地球全体の観測や国際的な枠組みの議論など、主に地球規模で進められてきた。しかし、その解決をさらに加速させるには、各地域における取り組みを積み上げることが不可欠である。この問題意識は国際的にも広く共有されており、迅速な対応が求められている。この新たなアプローチにいち早く着手してその成果を世界に発信することによって、日本は気候変動問題の解決に向けた地球規模での協調・協力に寄与することができる。また、得られた新たな知見を提供することによって、2013年頃に予定されているIPCC第5次評価報告書の作成をはじめ、国際的な合意形成や政策立案にも貢献できる。

7. 時間軸に関する考察

気候変動が地域に及ぼす影響を予測して適応策を立案するためには、長期にわたって統合的研究を推進する必要がある。その時間軸は概ね以下の通りである。

～ 2015年

日本国内の特定の生態系を対象とした研究において、フィールド研究とモデリングなど異なる分野の研究者間での相互交流を図る。現時点では、これを支援する有効な枠組が存在していない。そのため、新たな枠組の創設が必須である。

2015年

日本国内の特定の地域を対象としたプロジェクトを開始する。生物多様性が高く保全の必要性が高い生態系を選択し、様々な分野の研究者が参加するチームを結成して研究を推進する。自治体や住民との意見交換も実施する。

2015～2020年

各チームにおいて研究手法・方法論が確立される。研究者コミュニティが拡大し、チーム間で知識や経験の共有が進む。また、地域において自治体・住民と大学・研究者とのネットワークが構築される。さらに、得られた成果を世界に発信する。

2020～2025年

得られた成果を日本国内の異なる地域や同一地域内の異なる生態系でも活用される。また、同一地域内での各生態系モデルの統合が進む。この結果、予測技術の適用可能性が拡大する。それに伴い、研究者コミュニティがさらに拡大するとともに、地域におけるネットワークが全国に拡大する。さらに、国内で蓄積された手法や方法論などの成果を、気候変動が及ぼす影響がより深刻な途上国など、他の地域や国において適用が試みられる。

2025～2035年

予測技術が汎用性の高いツールとしてパッケージ化される。その効果の検証が進み、新たな研究課題が導出される。また、海外での取り組みも活発化し、地域環境・生態系予測モデルの統合的研究に関する地球規模でのネットワークが構築される。

8. 検討の経緯

8. 1 現状の把握と仮説の設定

気候変動が及ぼす影響を予測するための研究開発について、日本での取り組みの現状を整理するとともに、地域を対象とした研究開発に取り組むための今後の課題を検討した。また、国内外の政策でどのように位置づけられているのか、主要な声明や提言を対象に調査した。

これらの調査結果や前年度の環境技術ユニットでの活動成果に基づいて、「気候変動への適応策の具体的な推進のためには、地域に及ぼす影響を予測するためのモデルを構築することが必要である。」との仮説を設定した。

8. 2 検討会の開催

設定した仮説を検証するため、気候変動への適応策の具体的な推進に関する検討会を開催した。平成21年4月から7月までの間に、環境研究と物質・材料研究についてそれぞれ1回、生態系研究について2回、合計4回にわたり有識者とともに議論して、気候変動が及ぼす影響を予測するための研究開発の今後の課題を明らかにして、提案すべき内容を深めた。

8. 2. 1 「気候変動時代の環境研究のあり方」検討会

日時：平成21年4月30日（木）13：30～20：30

場所：科学技術振興機構研究開発戦略センター 2F 中会議室

参加有識者（所属・役職は開催時点）：

三村 信男 茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター教授

森口 祐一 国立環境研究所循環型社会・廃棄物研究センター長

花木 啓祐 東京大学大学院工学系研究科教授

川島 博之 東京大学大学院農学生命科学研究科教授

概要：

気候変動への適応策の具体的な推進が求められる中、地球全体の気候変動を対象とした数値モデルはほぼ確立しつつあると理解される。しかし、地球全体での気候変動が、各地域でどのような影響を与えるかを知ることが、今世紀、各国や各地域が環境対策を考える上で、極めて重要であると考えられる。日本の場合には、急激な人口変動と高齢化の影響を含めて検討する必要がある。このような認識に立ち、気候変動適応策の具体的な推進について、各有識者の見解を共有するとともに、優先して重点的に取り組むべき研究開発領域・課題およびその推進方法を議論した。

その結果、気候変動時代に必要な研究として、地域社会や日本の流域圏、アジアを対象とした適応策に関する研究が挙げられた。特に、少子高齢化のようなものも含めた総合的な対策が重要であること、また、アジアの今後50年の発展の予測は気候変動の重要な要素であるため、経済モデルとの連携が不可欠であり、税制のあり方も含めて検討すべきである、との指摘があった。

さらに、研究を推進する上で強化すべきことの1つとして、生態系モデル研究が挙げられた。その他、省庁の協力によるファンディングによる予測から政策決定・社会実装までを実施する体制の構築、論文ではなくファンディングを受けることや社会への貢献・アウトカムによる学術研究としての評価、大規模データへの対応、都市のあり方や総合的な環境負荷も考慮した日本全体の戦略の立案、住民の行動の誘導、人文社会科学との協力・共同研究の効果的な推進など、幅広い課題が指摘された。

期待されるアウトカムとしては、化石燃料の削減のほか、広い科学的情報に基づく農業政策・戦略などの一次産業への期待・貢献、廃棄物対策などと組み合わせた具体的な適応戦略、危険地域からの撤退策、豊かな社会像を示す全球的な戦略などが挙げられた。

これらの研究成果の最終目標は、持続可能性の実現であり、世界全体の持続可能性とアフリカや日本といった世界の一部の持続可能性の違いと関連性を明らかにしていくことが今後の重要課題として指摘された。

8. 2. 2 第1回「気候変動時代の生態系研究のあり方」検討会

日時：平成21年5月23日（土）13：30～19：00

場所：科学技術振興機構研究開発戦略センター 2F 中会議室

参加有識者（所属・役職は開催時点）：

松田 裕之 横浜国立大学大学院環境情報学府教授／特任フェロー

中静 透 東北大学大学院生命科学研究科教授

竹中 明夫 国立環境研究所生物圏環境研究領域長

三村 昌泰 明治大学理工学部教授

概要：

生態系の気候変動対策の具体的な推進に関して、下記の視点から議論した。

1. 気候変動が起きたとき、生態系の変化はどこまでどのように予測できるか。ご自分の専門分野の理論的な完成度は？
2. 予測のために必要なデータは何か。
 - (1) 気象データとして何。それは現在入手可能 or 不可能。
 - (2) その他のデータとして何。それは現在入手可能 or 不可能。
3. 日本国内で予測をするとしたら、どの地域を選択するか。それは何故。
4. 外国で予測をするとしたら、どの地域・国を選択するか。それは何故。
5. その他
 - (1) 素人の質問「生物多様性はどこまで必要なのか」にどのように答えるか。
 - (2) 日本の生態系は、どのようにしてどの程度守るべきか。
 - (3) 生物多様性条約 COP10 で何を提案すべきか。

議論の中で、原因はどうあれ、短期的気候変動への適応または対策が必要な地域や生態系があることが指摘され、生物多様性に関係したサービスの評価や経済への組み込みが進みつつあることや未来シナリオの中で考える必要性が紹介された。

生態系の変化を予測するための有効な手法・ツールとして、GIS（Geographic Information System、地理情報システム）解析・時系列解析、現象変化シミュレーションモデルとそれによる影響予測、各地域・気候帯における降水量変動をはじめとする気候変動予測、大規模操作実験、各地域・種別の炭素収支・生物多様性評価、可能な適応オプ

ション・適応策としての評価、群集生態モデル・進化生態学などが挙げられた。

これらを利用して予測するためには、各地の気温・降水量と将来予測、各種の個体数空間分布と過去の分布などのデータが必要であり、日本では島嶼部・自然遺産（世界遺産）・流域圏など、世界では島嶼部・希少固有種生息地などが対象地域として望ましい、との意見が出された。

また、予測の難しさとして、現象の不確実性と複雑性が指摘された。不確実性としては、気候・立地データの空間解像度と予測モデルの空間解像度が挙げられ、特に前者については解決できる可能性が高いとされた。一方、複雑性としては生物種の分布移動のプロセスが挙げられた。

議論を通じて、気候変動に対する生態系研究のあり方や問題点が明らかになった。これらをさらに深め共有するため、再度、参加有識者を増員して検討会を開催することとなった。

8. 2. 3 「気候変動時代の物質・材料研究のあり方」検討会

日時：平成 21 年 7 月 11 日（土）13：30～19：00

場所：科学技術振興機構研究開発戦略センター 2F 中会議室

参加有識者（所属・役職は開催時点）：

中村 崇 東北大学多元物質科学研究所教授

原田 幸明 物質・材料研究機構元素戦略センター長

岡部 徹 東京大学生産技術研究所教授

松野 泰也 東京大学大学院工学系研究科准教授

概要：

物質・材料分野の研究開発は環境技術の発展とイノベーションにおいて重要な役割を担っている。本分野において、気候変動適応策の推進のために必要なイノベーション、気候変動適応策のため優先して重点的に取り組むべき研究開発領域・課題およびその推進方法を議論した。

レアメタルについては、「Value of Nature」の重要性が指摘された。レアメタル資源は、すぐに枯渇するという可能性は低い。しかし、レアメタルの鉱床の多くは、地球が生んだ「奇跡」であり、また、採掘に伴い貴重な自然環境を破壊することを改めて認識し、どのような研究開発を進めるべきか議論された。

物質・材料の気候変動適応策を推進する上で取り組むべき課題として、環境を考慮した素材評価と社会モデルの開発が挙げられた。これまでエネルギーや素材に関する最適化シミュレーションやモデル化は実施されているが、素材の長期的あり方を示す総合的なプロジェクトはおらず、その必要性が指摘された。また、システムダイナミクスによる素材の需要把握も挙げられ、1人あたり GDP や人口との相関、素材代替可能性などを検討し、世界規模でストックを把握すべきと指摘された。有効な手法やツールとして、統計データや GIS、衛星画像などの利用、多元素を同時に扱うモデルの構築と見える化、開発技術の有用性や技術ニーズの検討、エネルギーモデルとのリンクなどが挙げられた。

さらに、資源リスクを回避するには、「使わずにすむものは使わない・丁寧に使う・何度も使う・あるものを使う」の 4 つの努力が重要であることが紹介され、それに貢献するための研究開発が今後さらに必要であることが認識された。

8. 2. 4 第2回「気候変動時代の生態系研究のあり方」検討会

日時：平成21年7月27日（月）13：30～19：30

場所：科学技術振興機構研究開発戦略センター 2F 中会議室

参加有識者（所属・役職は開催時点）：

松田 裕之 横浜国立大学大学院環境情報学府教授／特任フェロー

竹中 明夫 国立環境研究所生物圏環境研究領域長

山中 康裕 北海道大地球環境科学研究所准教授

金子 正美 酪農学園大学環境システム学部教授

灘岡 和夫 東京工業大学大学院情報理工学研究科教授

占部 城太郎 東北大学大学院生命科学研究科教授

概要：

第1回の議論を踏まえて、生態系の気候変動適応策の推進のために必要なイノベーション、優先して重点的に取り組むべき研究開発領域・課題およびその推進方法について議論した。松田特任フェローをコーディネーターとして、5月に開催した第1回の参加者に加え、新たな有識者にもご参加いただいた。

生物・生態系への気候変動が社会に与える影響のうち、数十年後には気象・生態系への追従過程で生じる問題が深刻であると指摘された。特に、農業、居住環境、生態系の供給サービスに関する支障が懸念され、生態系機能への依存度が高い地域ほど深刻な影響を受けると考えられる。しかし、その予測は気象の影響はおおよそ可能と考えられるものの、生態系の変化は非常に難しいとの意見が出された。

このような状況に対して、陸上・海洋生態系を対象としたモデル開発の今後の可能性が紹介された。陸上については、地域気候のダウンスケーリングと陸上生態系・水文過程・土地利用・地域政策を組み合わせたモデル、海洋については、生物多様性を表現した海洋生態系モデルがそれぞれ提案された。これらの開発のためには、長期時系列データの取得とアーカイブ化が必要であり、同時にそのための体制の構築や支援が求められることが指摘された。

生態系モデルの開発には観測などのフィールド研究が必要であることも指摘された。生態系変化の要因の評価・予測と変化を引き起こすメカニズムの解明に取り組むと同時に、広域モニタリング、古陸水学的手法などを用いた長期観測、野外操作などの実験やセンターなどのツール開発を行うことが重要であり、これらが両輪となってこそ生態系の保全や適応策の立案が可能になるとの認識が得られた。

研究開発の新たなツールとして、GISの新しいトレンドであるマッシュアップが紹介された。インターネットを利用してシームレスな地理時空間情報が得る技術が発展しており、例えば気候変動情報と生物多様性情報をマッシュアップすることによって、環境モニタリングから適応策立案まで一貫したシステムが構築できる可能性が示された。

また、サンゴ礁生態系を例とした沿岸生態系保全・再生に向けた研究が紹介された。生態系保全・再生を目指す2つの基本的視点として、対象とする生態系の環境ストレスをいかに軽減・除去するか、与えられた環境ストレスに対する生態系自体の耐性をいかに維持し高めるか、が挙げられた。

さらに、生態系の変化を予測するための研究開発の展望について議論を行った。生態系研究の動向や今後の方向性、国内だけでなく海外も視野に入れた研究のアプローチ、人材

育成、自治体や住民との連携協力など、様々な視点から意見が出された。

8.3 検討結果のとりまとめ

気候変動が及ぼす影響を予測するための研究開発に関する現状、検討会での議論内容に基づいて、設定した仮説の妥当性を考察するとともに、統合的研究の構成や具体的な課題について検討した。その結果を本提言としてとりまとめた。これらの過程においては、関連する文献を参考にするとともに、本提言作成担当チーム内での議論、検討会に参加した有識者や研究開発戦略センターフェローによる査読を行った。

9. 国内外の状況

9. 1 日本の現状と課題

日本は地球シミュレータの開発とともに、全球スケールの地球温暖化予測モデルの開発と自然災害防護を中心とした土木分野への応用を推進してきた。国際的にも、気候・海洋大循環変動に関する高解像度モデル開発が強い [6]。

文部科学省は、平成 19 年度から 23 年度までの 5 カ年計画で、「21 世紀気候変動予測革新プログラム」を推進している [7]。これは、平成 14 年度から 18 年度まで実施された人・自然・地球共生プロジェクトの成果を基盤に、地球シミュレータの活用を図り、IPCC 第 5 次評価報告書への寄与と、気候変動対応政策への科学的基礎の提供を目的としている。本プログラムでは、5 つの研究チーム（地球環境予測、近未来気候予測、極端現象予測、雲解像モデリング、海洋微物理過程）が設けられ、水災害リスク変化の推定や将来の極端現象の変化予測、流域圏を総合した災害環境変動評価、特定脆弱地域への洪水リスク影響等、地域を対象としたモデルの構築に取り組まれている。また、植生動態モデルや主要穀物生産の安定性に及ぼす影響評価、全球海洋生態系モデル等、災害以外の分野への応用が試行されている。

また、気候変動への適応策の研究を推進する研究者コミュニティが形成されつつある。例えば、地球温暖化によって甚大な影響を受けると想定されるアジア・太平洋地域において、国際対応力の形成のための研究が行われた [8]。日本の研究機関が連携協力して、防災・都市・社会基盤施設管理、食料生産に対する影響・リスク評価について体系的研究を実施し、途上国の研究者・政策担当者と意見を交換して、適応技術・政策の指針を示した。この研究によって形成された研究者コミュニティは日本だけでなくアジア・太平洋地域の途上国にも広がっており、今後の発展が期待される。

平成 22 年度には「気候変動適応戦略イニシアチブ」が発足する。国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」の基幹要素として平成 18 年度から 22 年度までの 5 カ年計画で推進されている「データ統合・解析システム」[9] の取り組みを発展させ、地球観測などのデータの解析処理プラットフォームを活用しつつ、最近の気候変動予測データを地域の影響評価研究に適用するためのダウンスケーリング手法の開発やデータ同化技術の開発、適応シミュレーション技術などの研究開発を推進する。その成果に基づいて、関係省庁や自治体を実施する適応策検討に対して科学的知見を提供することを目指す。

地球温暖化予測モデルの成果は気温変動と降水量変動の予測である。これに基づいて、食料安全保障、エネルギー施策、水循環変動予測、生態系変動予測など、地域の一次産業や生活など社会活動に関する多様な分野への応用が必要である。そのためには、多様な主体が参加するコミュニティを形成して、様々なネットワークを構築することが重要である。

9. 2 国内の政策上の位置づけ

平成 20 年 7 月の G8 北海道洞爺湖サミット首脳文書 [10] において、気候変動の最も深刻な結果を避けるため、開発途上国と先進国の間のパートナーシップを強化して、緩和及び適応の戦略を追及することとされており、とりわけ気候変動に関する観測、予測及びデー

タ共有を強化することとされている。

第3期科学技術基本計画[11]においては、個別政策目標「③-1 世界で地球観測に取り組み、正確な気候変動予測及び影響評価を実現する」が掲げられており、分野別推進戦略においては、環境分野では「25年先の気候変動影響予測と日本・アジアにおける適応策」、社会基盤分野では「資源・環境の保全を含む地域マネジメントシステムの開発」が重要な研究開発課題として挙げられている。

また、「地球環境科学技術に関する研究開発の推進方策について」[12]においては、今後取り組むべき研究開発課題として、「地球温暖化予測モデルの高度化による21世紀の気候変動予測」が挙げられ、「地域スケール程度までの詳細で信頼性の高い予測技術を開発し、国家安全保障、エネルギー施策、水・物質循環変動予測、生態系変動予測等への温暖化予測の利用・応用を推進する」ことが必要であると指摘されている。

9.3 国際的な取り組み

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、地球温暖化に関する世界中の数千人の専門家の科学的知見を集約した報告書を数年おきに発行している。2007年に発表した第4次評価報告書（AR4）では、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」ことを科学的に示すとともに、「20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高い」ことを明らかにした[2]。

気候変動問題を解決するためには、地球規模での協調・協力による取り組みが必須である。それを支える法的枠組みとして、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを目的とした気候変動枠組条約が1994年に発効した。さらに、この条約の目的を達成するため、先進国に対して2008年から2012年の温室効果ガス削減を義務付けた京都議定書が2005年に発効した[13]。京都議定書が定める第一約束期間後の枠組みについてはまだ国際的な合意に至っていない。

生物多様性の保全も大きな国際的課題となっている。ユネスコが1971年から推進する人間と生物圏計画（Man and the Biosphere Programme; MAB）では、生物圏保存地域（Biosphere Reserve; BR）の登録事業を実施している。マドリッド行動計画と呼ばれる2013年までの5カ年計画では、生物多様性の保全と気候変動の緩和と適応、社会経済的、人間の社会的文化的により良い在り方の相互に関係する課題間の支援などを役立てる新しい世代の専門家の出現に寄与する取組みを進めている[14]。また、国際連合の提唱によって行われたミレニアム生態系評価（MA）のフォローアップ活動が2006年から開始されている。その一環として、「日本における里山・里海のサブ・グローバル評価」が実施されている。日本の里山・里海を科学的に評価し、その保全および再生に関する政策立案や意思決定へ情報提供を目的として、里山・里海が提供する生態系サービスを特定し、その現状と傾向の分析、将来の予測を行っている[15]。

謝辞

本戦略プロポーザルの作成にあたり、以下の方に協力をいただいた。お礼申し上げる。

竹中 明夫	国立環境研究所生物圏環境研究領域長
中静 透	東北大学大学院生命科学研究科教授
松田 裕之	横浜国立大学環境情報研究院教授
矢原 徹一	九州大学大学院理学研究院教授
山中 康裕	北海道大地球環境科学研究院准教授

参考文献

- [1] 松田裕之，第1回「気候変動時代の生態系研究のあり方」検討会発表資料，JST 研究開発戦略センター開催，2009.
- [2] 文部科学省・気象庁・環境省，温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」，2009.
- [3] 気候変動に関する政府間パネル，気候変動に関する政府間パネル第4次評価報告書，2009.
- [4] 吉川弘之，本格研究，東京大学出版会，2009.
- [5] 科学技術振興機構研究開発戦略センター，新興・融合科学技術の推進方策に関する戦略提言 社会的課題の解決と科学技術のフロンティアの開拓を目指して，2009.
- [6] 科学技術振興機構研究開発戦略センター，科学技術・研究開発の国際比較 2008年版（環境技術分野），2008.
- [7] 21世紀気候変動予測革新プログラムホームページ，<http://www.kakushin21.jp/jp/>.
- [8] 研究コンソーシアムによる気候変動に対する国際的対応力の形成に関する総合的研究，平成17年度～平成20年度科学研究費補助金（基盤研究（A））研究成果報告書，2009.
- [9] データ統合・解析システムホームページ，<http://www.editoria.u-tokyo.ac.jp/dias/index.html>.
- [10] G8北海道洞爺湖サミット首脳宣言，http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/summit/toyako08/doc/doc080714_ka.html.
- [11] 日本国政府，第3期科学技術基本計画，2007.
- [12] 文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会，地球環境科学技術に関する研究開発の推進方策について，2008.
- [13] 外務省ホームページ，<http://www.mofa.go.jp/mofaj/Gaiko/kankyo/kiko/index.html>.
- [14] 生物圏保存地域のためのマドリッド行動計画（2008-2013）.
- [15] 日本における里山・里海のサブ・グローバル評価（里山里海 SGA 概要），<http://www.env.go.jp/guide/info/gnd/eo/05/mat03.pdf>.

■戦略プロポーザル作成メンバー■

安井 至	フェロー	(環境技術ユニット)
福田 佳也乃	フェロー	(環境技術ユニット)
上野 潔	フェロー	(環境技術ユニット)
丹羽 邦彦	上席フェロー	(電子情報通信ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2009-SP-10

戦略プログラム

地域環境・生態系予測モデルの統合的研究

～気候変動適応策立案を目指して～

STRATEGIC PROGRAM

Synthetic Study on Forecast Models of Regional Environment and Ecosystems

- Towards the planning of adaptation measures for climate change -

平成 22 年 3 月 March 2010

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 環境技術ユニット

Environmental Technologies Unit, Center for Research and Development Strategy

Japan Science and Technology Agency

〒 102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地

電 話 03-5214-7485

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

© 2010 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA C CT
GA C CTA ACT CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

