



SOUSEI 気候変動リスク情報創生プログラム

甲第135号証
文部科学省



気候の未来
予測への挑戦

2015.Sep

S O U S E I N E W S L E T T E R



SOUSEI NEWS LETTER No.3

気候変動リスク情報
創生プログラム

第3号発刊によせて ①

気候変動リスク情報創生プログラムについて ②

FEATURE01

CO₂の排出削減による環境・社会経済への影響を見通し、
未来へのシナリオを描く ③

FEATURE02

気候変動は生態系や生物多様性、
そして我々の社会経済にどのような影響をもたらすか ⑤

SOUSEI NEWS ⑦



第3号発刊にあたって

毎年、夏になると、今年の夏は例年になく炎暑で、大型台風も豪雨も増えているように思っています。地球が温暖化しているという解析や予測と、それが現実起こっているという事実を目の当たりにして、危機感を持って認めざるを得ない状況となってきています。このまま温暖化が進めば、生態系を含む私達の暮らしはどうなるのか、温暖化を鈍らせる具体的手段や、それがどれくらい効果があるのか、どの程度の気候変化に私達は適応できるのか、その予測だけではなく、どう対応すればいいのか、何ができるのか考え込んでしまいます。ししおどし(鹿威し)のように水がたまっていく時期は動きがなく、ある時、突然、状態が大きく動いてしまう不安もあります。温暖化を抑制するために、根源の二酸化炭素放出削減だけでなく、人為的に大気中の二酸化炭素の吸収を促したり、太陽光を反射させるエアロゾルや雲を増やしたりするなどのジオエンジニアリング手法には、効果があっても副作用はないのだろうかなども知りたいところです。

「気候変動リスク情報創生プログラム」の研究成果は、これらの疑問に対する重要な科学的事実の提供だけではなく、政策決定者の施策の方向検討に資することや、その効果をも示唆することが期待されています。それは、市町村レベルから都道府県、日本、アジア地域、そして、全世界へも自然科学と社会科学の連携をもって発信し、貢献していくものでしょう。

今回のニュースレター第3号では、本プログラムを構成する4つのテーマのうち、テーマB(安定化目標値設定に資する気候変動予測)およびテーマD(課題対応型の精密な影響評価)における研究内容や研究チーム等についての説明を中心に、最新の成果も交えてご紹介をしていきます。

プログラム・オフィサー

文部科学省技術参与

東京大学大気海洋研究所

国際連携研究センター センター長・教授

植松 光夫

CONTENTS

01 第3号発刊にあたって

植松 光夫 プログラム・オフィサー

02 気候変動リスク情報創生プログラムについて

03 CO₂の排出削減による環境・社会経済への影響を見通し、未来へのシナリオを描く

テーマB【取材協力】松本健一

[滋賀県立大学 環境科学部 環境政策・計画学科 助教]

テーマB【取材協力】筒井 純一

[電力中央研究所 環境科学研究所 副研究参事]

05 気候変動は生態系や生物多様性、そして我々の社会経済にどのような影響をもたらすか

テーマD【取材協力】中静透

[東北大学大学院生命科学研究所 教授]

07 SOUSEI NEWS



気候変動リスク情報創生プログラムについて

本プログラムは2012年度に始まり、5年間続けられます。具体的な研究は「A.直面する地球環境変動の予測と診断」、「B.安定化目標値設定に資する気候変動予測」、「C.気候変動リスク情報の基盤技術開発」、「D.課題対応型の精密な影響評価」の4つの研究領域テーマに分かれて進められ、さらに「E.気候変動研究の推進・連携体制の構築」が上記4テーマ間の連携促進と技術面、事務処理面での支援を担当します。

研究領域テーマの構成

本プログラムにおける研究は、重層的な構造になっています。テーマAは本プログラムの根幹となる基盤モデルそのものの強化・高性能化、テーマBは基盤モデルに大気海洋の化学過程や生物活動などの要素を加えたより詳細な地球システムモデルの開発と気候安定化の目標値の検討、テーマCは基盤モデルの応用による詳細な予測情報の創出と極端な気象現象に関する「想定しうるシナリオ」の作成、テーマDは、基盤モデルによる結果を用いた自然災害や水資源の変化予測、生態系・生物多様性に対する影響評価を行います。これらを通し、本プログラム全体として、適応策や緩和抑制策に向けたリスク予測や評価の実現を目指します。

創生プログラムの先にあるもの

本プログラムでは、水資源や生物多様性、防災、経済などの専門家(テーマD)が、気候モデルの専門家(テーマA-C)と協力し、シミュレーションによる気候予測データを活用した気候変動の影響評価に取り組んでいます。さらにテーマCでは、米国、ベトナム、フィリピンなど海外を含むプログラム外からの要望にも応え、予測データを提供しています。社会経済シナリオ開発、影響評価、気候モデル開発それぞれに携わる研究者が一堂に会する情報交換の枠組みである「シナリオイニシアティブ」(テーマB担当)のもとでの社会経済分野との連携や、平成27年度を目途にした政府による適応政策の検討への協力など、予測データに基づいた持続可能な社会の構築といった大きな目標へ向けた具体的な取り組みも継続しています。また研究者の間では、2013年発行のIPCC第5次評価報告書以後の気候変動予測の国際的枠組みに関する検討がすでに始まっています。この枠組みは第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)と呼ばれ、今後IPCCから第6次評価報告書が発行されることになれば、CMIP6で得られた成果が大きく取り上げられることが予想されます。CMIP6で議論の対象となっている気候感度やジオエンジニアリング、極端現象などの話題のほとんどは本プログラムで取り組みが進んでいる課題です。今後、本プログラムの成果や、それを引き継ぐ研究者たちの活動が、CMIP6への日本からの貢献の多くの部分を支えることになるでしょう。



CO₂の排出削減による環境・社会経済への影響を見通し、未来へのシナリオを描く



FEATURE 01

地球温暖化への対策として二酸化炭素(CO₂)の排出削減が叫ばれていますが、実はそれがどれくらい有効なのか、社会経済の発展を阻害せずに環境も守っていくにはどの程度削減したらいいのかなどについては、不明瞭なところがあります。

本テーマでは、人間活動が起源となるCO₂排出を削減したとき、もしくはしなかったときに、地球環境だけでなく社会経済にどのような影響があるのか、また、気候変動の予測結果をどのように排出削減のシナリオや緩和策と結び付けていくのかについて、取り組んでいます。

温暖化への地球システムの応答度合いで、100年後の経済はどう変わる?

地球温暖化をどの程度抑制するかという目標を設定しても、人類が排出できるCO₂の量は自動的に決まりません。陸域の生態系や海洋がどの程度CO₂を吸収してくれるかにより、排出可能なCO₂の量は変わります。本テーマでは、この「地球システムの応答の違いによる不確実性」を再現した気候モデルデータと経済モデルを連携させ、不確実性が世界経済にどのような影響を及ぼすかシミュレーションを行っています。

はじめにシミュレーションの土台として、IPCC第5次評価報告書で使われている4つの代表的濃度経路*のうち、下から2番目の気温上昇度合いの中位安定化シナリオ(RCP4.5)を採用しました。そのシナリオの中で、年ごとの目標濃度を実現するために排出可能なCO₂の量に注目し、「地球システムモデル」がもつ不確実性による社会経済への影響を、経済モデルの一種である「応用一般均衡モデル」を用いて解析し、次のような結果が得られました。

球システムの応答の不確実性による)の2100年における世界総GDPは、それぞれ95.8および91.9となる。排出可能なCO₂の量が少ない場合は、多い場合よりもGDPの値が約4%少なくなる(図1)。

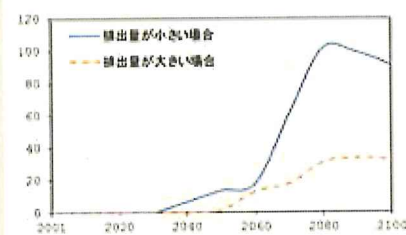


図2: 炭素価格(単位: \$/tC)
(Matsumoto et al., 2015, Computers & Operations Research を一部改変)

(2) 目標のCO₂濃度が同じでも、地球システムの応答の違いにより、排出削減量が少なくすすむ場合とそうでない場合とでは、炭素価格**に3倍の違いが生じる(図2)など、排出削減シナリオに有意な影響を与える。

(3) 一次エネルギーは、排出量が最も小さい場合と大きい場合とで2100年時点の総需要量に大きな違いは見られないが、その構成は異なる。最も大きい場合では化石燃料の利用が大きく、特に天然ガスの割合が最大になる。一方、最も小さい場合では、化石燃料の利用が抑制され、代わりに再生可能エネルギーが増加し、特にバイオマスの割合が最大になる。

これらの結果から、排出可能なCO₂の量の多寡は経済に少なからず影響を与えることがわかりました。しかし、世界全体で排出権取引を行うなどして単一の炭素価格が適用され、効率的に排出削減が実現される場合には、排出可能なCO₂の量の違いは顕著な経済成長の差を生まないことも示されています。

*RCPシナリオ(地球温暖化を引き起こす、大気の温室効果ガスなどの濃度がどのように変化するかを予測したシナリオ)

**二酸化炭素(CO₂)を追加的に1単位削減するのに必要な費用。炭素税に相当する。

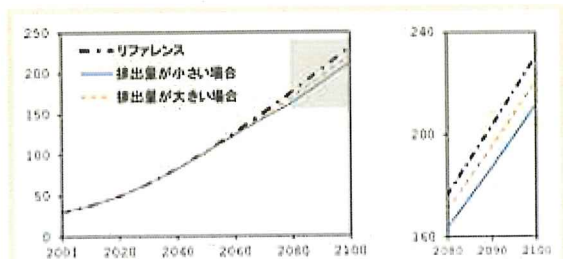


図1: GDP(世界合計、単位:兆USドル)。右は2080~2100年を拡大したもの
(Matsumoto et al., 2015, Computers & Operations Research を一部改変)

(1) 温暖化対策を講じない場合の世界総GDPを100とした場合、排出可能なCO₂の量が多い場合と少ない場合(この差は地

本研究では、これまで連携のなかった自然科学と社会科学を結びつけ「温暖化が進むと世界経済にどんな影響があるのか?」を探っています。今まで日本では取り組まれていなかった切り口だけに苦勞もありますが、社会経済の側面から温暖化を理解する、という面白さに惹かれています。

松本 健一 滋賀県立大学 環境科学部 環境政策・計画学科 助教



CO₂排出量と気温上昇の関係などの複雑な気候モデルから得られる知見を、社会経済シナリオの研究に適切に反映することをねらっています。地球温暖化の研究では、異分野間での情報共有と研究協力がますます重要になっており、その橋渡しを担っています。

筒井 純一 電力中央研究所 環境科学研究所 副研究参事

気候モデル研究とCO₂排出シナリオ、2つの研究の相互理解を深める

本サブ課題では温暖化問題の全体像を俯瞰し、より包括的な観点で、気候科学の分野と社会経済分野の橋渡しを行っています。未来の気候をより正確に予測し、温暖化への現実的な適応策・緩和策を練るには、両分野の連携を高めることが非常に重要です。例えば「この先平均気温がどう変化していくのか」の予測ができれば、平均気温がある限度を超えないようにするにはCO₂をどの程度削減するかという社会経済シナリオの設定ができます。逆に社会経済の分野で今後革新的なエネルギー技術などが生まれれば、CO₂の排出量が低減し、気温上昇の度合いにも変化が生じると予測できます。

このような相互に依存するシナリオを多数検討する際には、将来の気候をシミュレーションする「気候モデル」の簡略版が使われるため、本研究ではその改良に力を入れています。ここで重要なことは、モデルに最新の情報を反映することです。そこで、改良中のモデルには、自然の炭素吸収(左記)に加え、CO₂などの外的要因がどの程度の気温上昇をもたらすかという「気候感度」についても、複雑な気候モデルから得られる知見を適切に反映する工夫を行っています。気候感度はまだ不確実性が非常に大きいのですが、確率論的な評価も取り入れて、CO₂排出量をどう削減していくかという

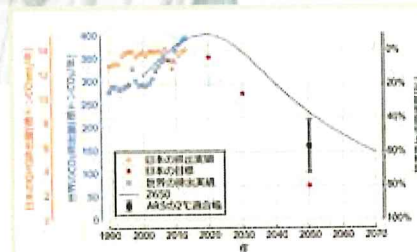


まとめ 未来への影響を見据えたCO₂排出削減・温暖化緩和策に貢献する

私たちがこれから温暖化とどう向き合っていくのかを考えたとき、CO₂などの排出削減による防止策を考えるだけでなく、社会経済的な側面も鑑みて緩和策と適応策を考えていくことが大切です。そのためには、気候と社会経済の発展とその不確実性を共通の枠組みで扱い、将来の気候の変化とその影響に関するさまざまな可能性を把握しておく必要があります。それらの研究から得られた知見を、日本や国際社会におけるCO₂などの排出削減目標や政策決定などに役立てていくことが、本テーマの最終的な目標です。

実践的なシナリオ研究に貢献することを目指しています。

気候モデルの開発と並行して、以前に海洋研究開発機構と電力中央研究所で作成したCO₂の排出シナリオ「Z650」の妥当性も検討しています。これは、産業革命前からの地球全体の温度上昇



Z650と世界および日本の排出実績・目標との比較

Z650は排出削減の実現可能性を考慮して2°C目標を柔軟に考えたCO₂排出パスの一例で、本研究で詳細に検討中。世界の実績値は化石燃料起源(Boden et al. 2013)と土地利用起源(Houghton et al. 2012)のCO₂排出の合計。AR5 (IPCC第5次評価報告書)の2°C適合幅は、第3作業部会報告(2014年)で評価された、工業化以前からの世界平均気温の上昇が21世紀末に1.5-1.7°C(気候予測幅の中央値)になるシナリオの範囲(2050年の温室効果ガス(GHG)排出が2010年比41-72%減)。日本の実績値は温室効果ガスインベントリオフィスによる2013年までのデータ(CO₂とその他6種ガスの合計)。日本の目標値は2015年7月時点の公表情報に基づく(2020年は暫定目標)。削減比(右縦軸)の基準は、日本の排出量(赤の左縦軸)は2005年、世界の排出量(青の左縦軸)は2010年に設定。

を2°C以下に抑えるCO₂の排出削減について、2100年以降の気候の推移を考慮して、従来と比べてより柔軟な道筋を示したものです。近い将来の排出増加を許容しつつ、22世紀半ばにゼロ排出を達成し、長期的な大気CO₂濃度の低下と気候復元を図るねらいがあります。Z650は実現可能性の高い将来像を描くための基盤シナリオの一つと位置づけています。

また、本サブ課題に求められている役割として重要なのが、気候科学と社会経済、両分野の研究者の情報交換・協力を促進する「シナリオイニシアティブ」という活動です。IPCCの情報についても、第3作業部会*のシナリオ評価の妥当性を第1作業部会の観点で分析するなど、分野間の情報共有に貢献しています。

*IPCCの構成組織。作業部会は第1(担当:科学的評価)、第2(担当:影響・適応・脆弱性)、第3(担当:緩和・横断的事項)の3つからなる。



役立つ成果や今後の展開

環境省や経済産業省がCO₂の排出削減目標について議論する際には、IPCCが作成した、温暖化が社会経済にもたらす影響を評価したデータが利用されています。気候モデルから得られる情報はこのデータの基盤となる知見であり、本研究では、政策決定や国際的な議論への寄与を意識した成果の創出を目指しています。

現在、今後100年間で二酸化炭素がどのくらい排出されるかという「排出経路」づくりを進めており、排出の度合いや時期が変化すると社会経済にどのような影響があるのか、研究しています。

CO₂の排出削減目標や気温上昇の予測は気候感度や生態系の応答などに大きく左右されます。気候科学的知見を活用してこれらについて正しく(不確実性を含めて)評価し、情報共有することにより、排出削減コストと温暖化リスクのバランスのとれた、実現可能性の高い温暖化対策の立案に貢献していきます。



気候変動は生態系や生物多様性、そして我々の社会経済にどのような影響をもたらすか



FEATURE 02

気候変動は、確実に私たちの生活に影響をもたらしつつあります。身近な例でいうとお花見の時期が早くなったことなどが挙げられますが、それだけには留まらず、これまでの気候と生物や生態系の関係を通じて私たちが受けていた利益が、損なわれる可能性もあります。

本プロジェクトでは、この先起こりうる気候変動が自然災害・水資源・生態系や生物多様性にどのような影響をもたらすのか、100年先まで見通すことを目指しています。また同時に、それが日本の社会経済にどんなリスクを及ぼすかを分析し、適応策の指針となる知見を見出していきます。

今回はプロジェクト内の課題のひとつ「生態系・生物多様性に関する気候変動リスク情報の創出」より、4つのサブ課題を紹介します。

サブ課題 (iii)-a 気候変動予測情報を活用した、将来の生態系・生物多様性に関する影響及びその不確実性評価研究

本サブ課題では、陸域の生態系のなかでも特に気候変動の影響を大きく受けると考えられている、高緯度・高標高の森林や山地湖沼、流域の生態系、高山植物などについて調査しています。地球温暖化に弱い地域や生態系・種を調べ、森林が減衰したり高山植物が絶滅したりすることでどんな影響があるのか、精密に予測できるようにすることが目標です。

森林の変化について30年前の空中写

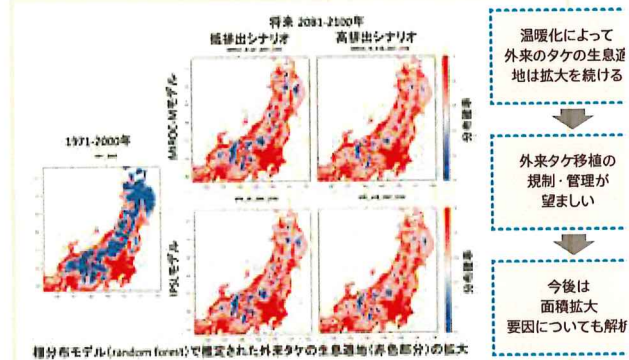
真と現在の写真を比較調査したところ、元々暖かい地域の植物であるモウソウチクとマダケの分布が高標高・高緯度へ拡大していることがわかりました。このまま温暖化が進めば、東北地方でもタケ林が増えていくと予想されます。また、高山の森林は温暖化が進むと山の上の方、つまり気温の低い方へ分布していく傾向があります。気温はこの100年で約1℃上昇していますが、森林の上昇スピードはその5分の1程度でした。その差がどんな影響をもたらすのかについては、さらに調査が必要です。

湖沼についても、過去の水辺の国勢調査の記録からデータベースを構築して分析した結果、温暖化が進むと高緯度・高標高のダム湖ほど動物プランクトンの種の多様性が減少する一方、大型の種が現れることがわかりました。高山植物については、低地に近縁の種が存在するものは温暖化の影響は受けにくいことがわかりました。流域生態系については、水や栄養塩などの循環が温暖化によりどう変化するのかシミュレーションを行い、リスクを分析中です。

サブ課題 (iii)-b 生態系サービス等を通じた社会・経済的影響の評価研究

気候変動が生態系に及ぼす影響を、経済的な面から評価するのが本サブ課題の目的です。サンゴ礁、高山植物などが、温暖化によりどう変化するかを調査します。サンゴ礁と高山植物では日本全国の人々を対象に、沿岸生態系では太平洋と瀬戸内海に面した市町村に住む人々を対象にアンケート調査を行っています。

サンゴ礁では「景観」「種数」「面積」「九州以北で増加するサンゴの量」を、高山植物では「景観」「種数」「面積」「高山植物から遷移した森林が吸収する二酸化炭素の量」をそれぞれ調査するとともに



八甲田山垂直分布

植生の境界が見られる山岳

陸域の生態系のなかでも特に気候変動の影響を大きく受けると考えられている、高緯度・高標高の森林では、高山植物の減少や植生帯の北上など、気候変動の影響は、すでに現実に見られています。



オオシラビソの分布

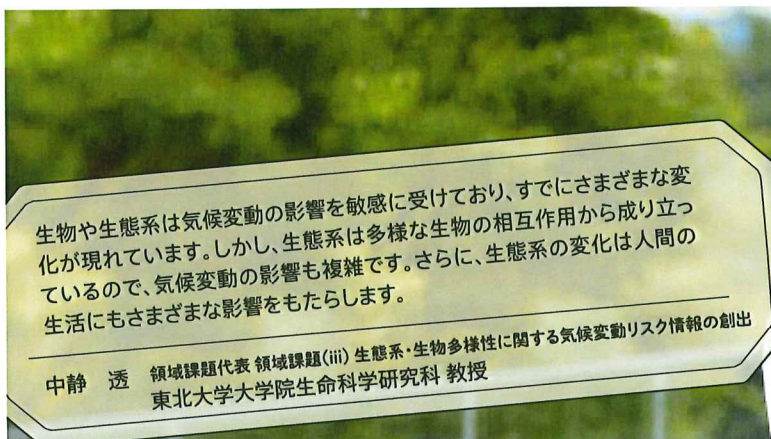
役立つ成果や今後の展開

高山植物分布についての研究が進めば、希少な高山植物の絶滅を防ぐには特にこの山を守る必要があるか、どのような方法で保護するのかなど、保護計画の指針づくりや重点化がしやすくなります。

日本各地の保護地域をネットワーク化することにより、温暖化かのように森林や高山植物を損なっていくのか、それらからなくなったときに起こる悪影響を防ぐ方法を考えることができるようになります。

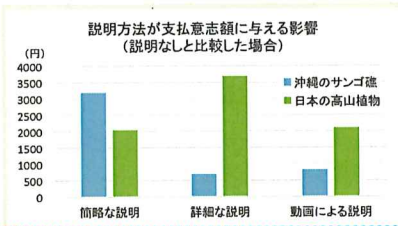
森林や高山植物の状態がどのように悪化しているのか具体的に把握できるようにするには、二酸化炭素の排出量削減などの防犯策のみではなく、それぞれの地域にとって効果的な適応策を描くこともできるようになります。

新緑ブナ林



生物や生態系は気候変動の影響を敏感に受けており、すでにさまざまな変化が現れています。しかし、生態系は多様な生物の相互作用から成り立っているため、気候変動の影響も複雑です。さらに、生態系の変化は人間の生活にもさまざまな影響をもたらします。

中静 透 領域課題代表 領域課題(iii) 生態系・生物多様性に関する気候変動リスク情報の創出
 東北大学大学院生命科学研究所 教授



アンケートにあたり事前説明を行わない場合と比較して、異なる方法で説明した場合の保全対策への支払意思額の増加量。サンゴ礁など身近な(メディアなどを通じて認知度が高いと考えられる)生態系については簡略な説明が、高山植物のような身近でない(認知度が低いと考えられる)生態系については詳細に説明をする方が寄付金額が高まる傾向がありました。また、保全対策への寄付(一人一回きり)への支払意思額の平均値は、沖縄のサンゴ礁が25,436円、日本の高山植物が24,813円でした。

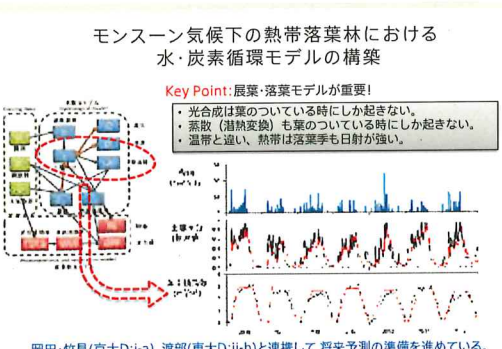
に、人々が環境保全へどれくらい費用を支払う意思があるか、保全に当たりどのような要素を重要視しているかをヒアリングしました。すると、高山植物よりもサンゴ礁の方が、保全のために支払ってもいい金額が高いことがわかりまし

た。また、サンゴ礁など身近な生態系については説明をしてもなくても金額が変わらず、高山植物のような身近でない生態系については詳細に説明をする方が関心が高まる傾向がありました。調査の結果、人々は温暖化により悪影響を受けてしまう生態系に関して、一定の価値を感じていることがわかりました。

サブ課題(iii)-c 北東ユーラシア・東南アジア熱帯における気候・生態系相互作用の解明と気候変動に対する生態系影響評価研究

本サブ課題の最終的なゴールは、気候変動により東ユーラシア域の生態系がどうなるのか?という疑問に答えることです。そのために、地球全体の植生がどう変化していくかという未来をシミュレーションできる「全球動的植生モデル(SEIB)」の高度化に取り組んでいます。

現在はSEIBを適切に運用するため、21世紀の気候変化を予測したデータの取得・整理を進めています。そのデータとSEIBを組み合わせ、温暖化により土壌の水分がどのように失われるかというシミュレーションや、タイの熱帯雨林から空気中へ水分が蒸散されていくモデルの再現を行い、一定の成果を得ました。ほかにも、カンボジアの天然ゴムプランテーションのゴムノキの成長・死亡だけでなく天然ゴム生産量の予測シミュレーションモデルを作り、これにより、気候変動による天然ゴム生産への影響予測が可能となりました。ボルネオ島では、地表面を植物が覆う被覆率と降水量の関係を分析し、低



岡田・竹見(京大D;i-a)、渡部(東大D;ii-b)と連携して 将来予測の準備を進めている。

地で被覆率が下がると山地の降水量も減少するという結果が得られました。

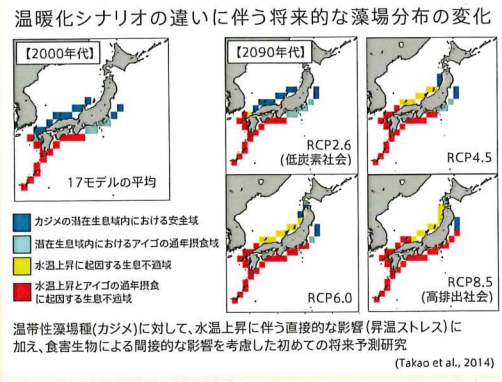
今年の末頃までには、「気候変動に対して東ユーラシア域の陸上生態系が

どんな反応を示すか」を分析するのに有用な情報が創出できる見込みです。

サブ課題(iii)-d 沿岸海洋生態系に対する気候変動の複合影響評価研究

本サブ課題では、温暖化や海洋酸性化が沿岸生態系にもたらす複合的な影響の予測・分析を行っています。具体的な研究として、サンゴ礁や藻類、魚介類などの海洋生物の分布や多様性、それらの生物がもたらす自然災害の緩和や食料としての価値などの好影響を調べ、「どのような条件ならその生物がその海域に生息できるか」という評価指標を作成しました。その上で、温暖化が進むと生物分布がどう変化するかシミュレーションを行ったところ、たとえば本州～九州沿岸のカジメ(藻類)では、水温上昇によってカジメ自体が直接的なストレスを受けること、カジメを食べるアイゴ(魚類)の捕食圧が強まること、その両方の影響を受けて生息不適域が拡大してしまう可能性が示唆されました。

海洋生物の分布は温暖化の影響で急激に変化しつつあり、今後とも変化していくと予測されます。これまでの本研究を通じて得られた研究結果から、二酸化炭素の排出規制が重要であることの再確認、そして海域ごとの適応策の必要性が示唆されています。今後は後者の適応策に資するより高精度のシミュレーションを可能にするために、サンゴや藻場種以外の生物に対しても上記のような評価指標を作成するとともに、これまでは日本近海に限定していた対象海域を、日本近海同様に生物多様性が高く海洋生物資源への社会的依存度が高い東南アジアにも拡大してシミュレーションを行っていきます。



東北大学大学院生命科学研究所 研究室