

**2-1801 世界の気候変動影響が日本の社会・  
経済活動にもたらすリスクに関する研究  
【低炭素領域・環境問題対応型】  
(2018～2020年度)**

**環境研究総合推進費発表会  
2019.9.13(金)**

課題代表者 国立研究開発法人 国立環境研究所  
社会環境システム研究センター 副センター長

亀山康子



# 本研究の背景と目的 2つの流れ

## 1. 気候変動適応策からの議論の流れ

従来の適応研究は、農作物への影響や集中豪雨等、日本国内で生じる影響への適応に限定。しかし、日本経済のように、国外から多くの資源や部品、食料等を輸入している国では、国内で生じる影響のみならず、**国外で生じる気候変動影響が貿易等をつうじて間接的に企業活動や国民に及ぼす影響の回避**も含めて、適応策を議論すべき。

→ **貿易、サプライチェーンが日本企業や国民の食料供給に及ぼす影響**

## 2. 気候変動を、単なる環境問題としてではなく、国家が直面する「リスク」と捉える考え方

かつてより、**気候変動を安全保障との関係で捉える動き**があった。環境省は、2007年に「気候安全保障に関する報告書」を公表、海面上昇がEEZを変える可能性や、環境難民の発生等について言及している。IPCCWG2でも「人間安全保障」の章あり。

→ **海外での災害支援や難民流入等について議論を始める必要性**

## 本研究の目的

世界各地で発生した気候変動影響による当該地域での被害が、貿易等をつうじて日本の社会経済に及ぼす影響を特定するとともに、安全保障概念で新たに認識される気候変動リスクの検討を行い、今後の気候変動適応策及び関連施策において、日本がとるべき対策を提言する。

# 【2-1801】世界の気候変動影響が日本の社会・経済活動にもたらすリスクに関する研究

サブテーマ1（国環研） 総括班。国外の気候変動影響に関する情報の提供。  
日本企業や日本国全体が直面するリスクを分析

サプライチェーン等をつうじた日本企業や食料供給に及ぼす影響

サブテーマ2（国環研）  
貿易モデルを用いて災害との関係を分析

サブテーマ3（農研機構）  
国外の農作物収量変化が国内食料需給に及ぼす影響

アジア地域での災害支援等、  
外交・国際制度的検討

サブテーマ4（地球環境戦略研究機関、IGES）  
国の社会的脆弱性に着目した  
アジアにおける地域安全保障

サブテーマ5（茨城大学）  
気候変動と安全保障に関する理論整理（国際政治学）

サブテーマ6（東京大学）  
パリ協定での扱い等、制度的検討（国際法学）

相互  
連携

2018年度：現状把握、日本にとって重要な項目の洗い出し

2019年度：重要な項目に関し、将来の気候リスクを分析

2020年度：予想されるリスクを回避するための政策提言

# (1)「総括班：国外における気候変動影響及び関連リスクに関する情報分析」

**担当者：**亀山康子・高橋潔・肱岡靖明・岡田将誌(国立環境研究所)

**役割：**気候変動影響に関する情報を収集し、他サブテーマに提供。また、他サブテーマの成果をとりまとめ、日本が直面するリスクを総合的に評価。

最終的には、課題全体として**日本企業や食料供給に影響を及ぼすリスクと、気候安全保障から見たリスクを明らかにし、適応策を提案。**

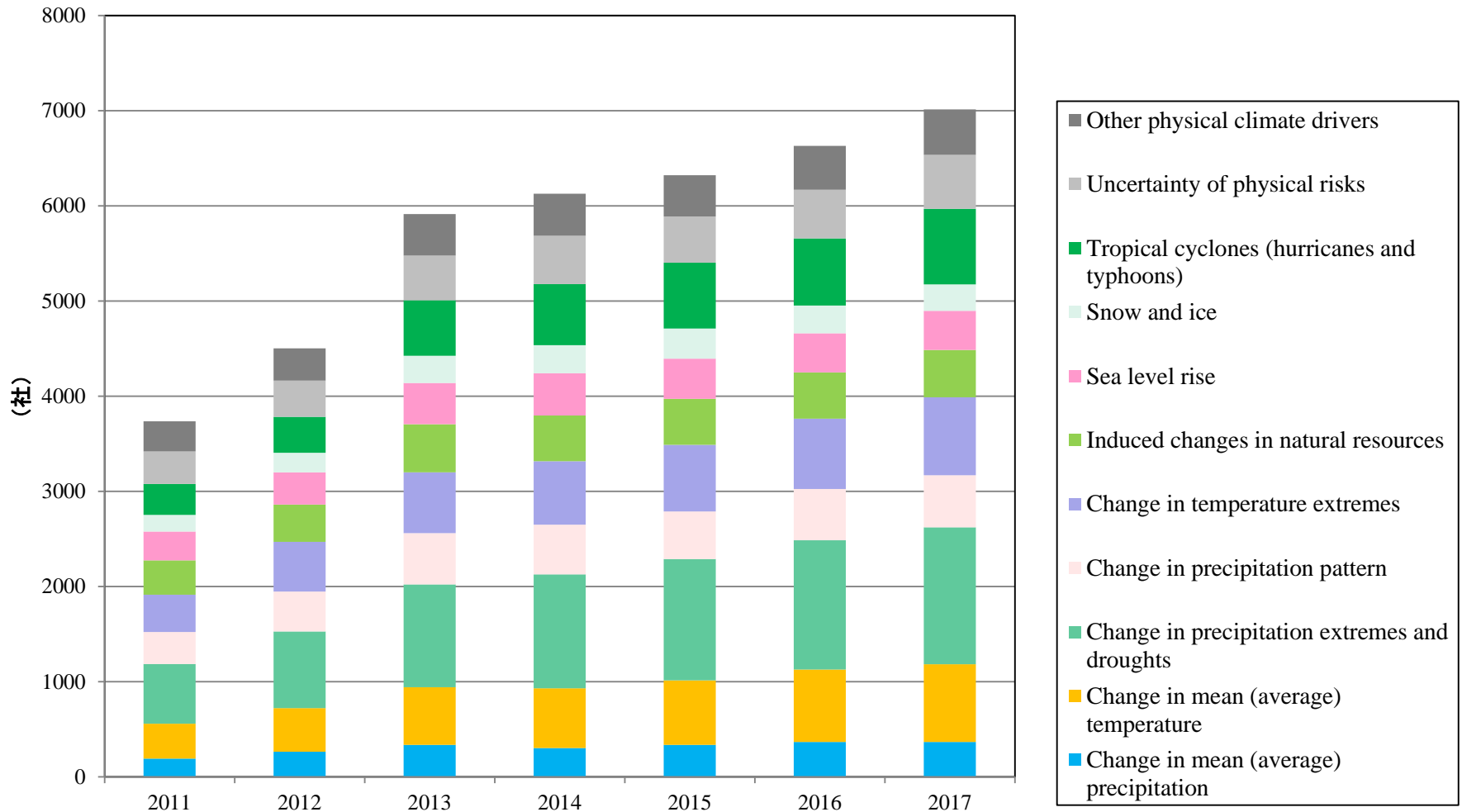
## 今までの研究概要と成果

1. 業種ごとに、懸念すべきリスクの種類や、取引先国が異なることが想定されるため、その違いを明らかにすることを目的として、文献レビューで企業が備えるべき気候変動影響について網羅した後、**業種の異なる国内の主要企業11社をヒアリング**し、国外で生じる気候変動リスクの類型化、および企業による適応策の進捗を確認。
2. 世界で7000社を超える企業にアンケート調査を実施しているCDPのデータを購入し、**気候変動による物理的リスク等に関する設問への回答(9年分)を分析**し、世界企業と日本企業の特徴や、業種ごとの特徴を精査するとともに、初年度のヒアリング結果を検証。
3. サブテーマ2&3の成果、および気候変動影響予測を合わせ、日本企業にとって貿易やサプライチェーン等で**かかわりのある国や地域での今後の気候変動影響**が、日本企業に及ぼしうる影響と、それに対して企業がとるべき行動についてまとめる。

# 昨年度の成果：海外での気候変動影響が日本企業に及ぼしうるリスク

影響の種類	想定される企業活動へのリスク
短期的な降水量の増加による浸水等	短期的な集中豪雨、台風、ハリケーンによる資本(設備等)への損害
	交通網遮断による物流停止
	交通網遮断による社員の出勤困難
	サプライチェーンを介在した納品遅滞
	研究所のHP <a href="http://www.nies.go.jp/social/jqjm1000000gjz69-att/2-1801_hearing_201904.pdf">http://www.nies.go.jp/social/jqjm1000000gjz69-att/2-1801_hearing_201904.pdf</a> にて報告書を公開。
海面上昇や高潮	長期的なトレンドとしての海面高潮
	短期的な異常気象による高潮 港湾が使用困難となることにより、他社の回答を読み、複数の企業担当者から「今まで気づいていなかったリスクを気づかせてくれた」という意見をいただいている。
渇水	降水量の減少等による工場での生産量減少
	降水量の減少等による穀物等食料品生産量の減少
	乾燥による森林火災、山火事
熱ストレス	社員(労働者)の熱中症、それを防止するための休憩時間確保による労働生産性減少
	社員(労働者)や製品の品質管理のための空調利用による電力消費量増加
	高熱による農作物の生産量減少、長期的には栽培適地の変化
	道路アスファルト等の劣化による輸送遅延
	漁業資源の移動を含む気温上昇による生態系への影響
上記を原因とする経済的コスト増、投資リスク	新たな事業を始める際の将来リスク増加によるコスト増
	保険料の増加
	価格の高騰に伴う投機の発生によるさらなる価格高騰
	信用の低下

# 今年度の作業：CDPデータを活用した企業の 気候変動影響に対するリスク認識（世界合計、物理的リスク）



世界でも短期的な集中豪雨や長期的な降水量の変化に対する関心が高いが、その他、気温上昇や、氷雪、また、不確実であることのリスク、が挙げられている。



## (2)「国際サプライチェーンを通じた気候変動の国内経済活動への影響に関する研究」

担当者: 南齋規介・中島謙一(国立環境研究所)

**役割:** 各国の自然災害の発生と国際貿易の構造変化との関係に着目し、将来の気候変動に起因する国外の自然災害が国内の経済活動に与える影響を解析するため、**気候変動シナリオと自然災害に応答する国際貿易モデルの開発**を行う。モデル解析を通じて、将来の異常気象や気候変動に対してリスクの高い貿易財を検出し、そうした**貿易財と国内サプライチェーンモデルとを接続することで、国内経済活動に与える影響を予測する。**

### 今までの成果

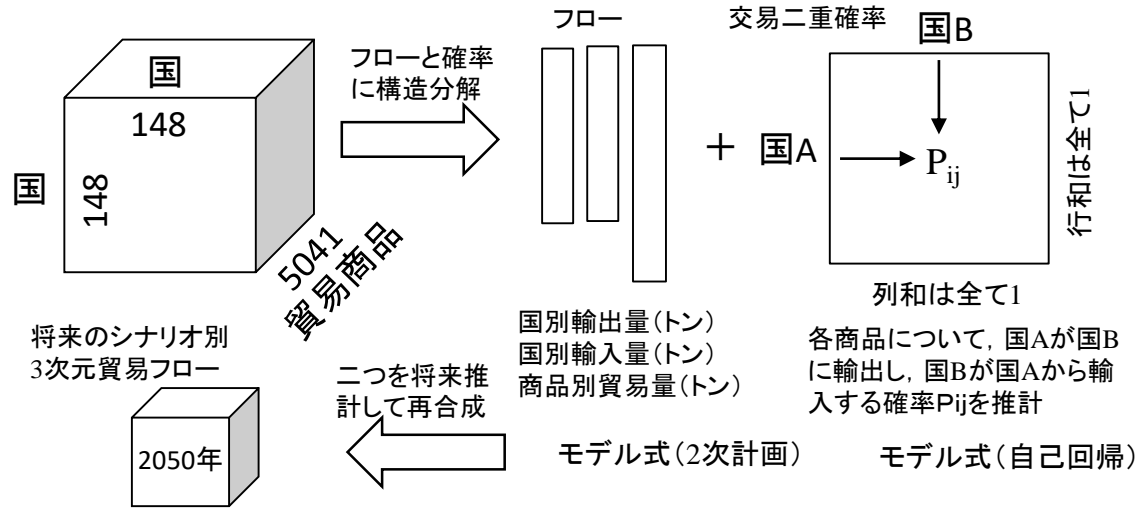
- ・2018年度: **国際貿易モデルの開発に向けた基本設計と長期時系列貿易データの整備**を行うとともに、**各国の災害時系列データの収集とモデルへの組み込み手法**を検討する。また、国内サプライチェーンのデータ整備についても着手する。
- ・2019年度: 国際貿易モデルの開発を加速させ、モデルの精緻化を図るとともに自然災害データのモデルへの組み込みを開始し、**将来の気候変動シナリオに応じた貿易構造の同定を行う**。加えて、国内サプライチェーンの貿易財に対する依存性に注目して、国内経済活動が有するリスクの指標化を検討する。
- ・2020年度: 将来の気候変動に応じた各国の災害頻度と影響をシナリオとして国際貿易モデルに付与し、国内経済活動の将来リスクの推計および適応するための貿易政策等を提示する。

# 気候変動による国際サプライチェーンの影響と 国内産業に関する適応策検討モデルの開発概要

サブ(2)関連

## 国際貿易モデルの開発

①貿易フロー(商品別総量, 国別輸出総量, 国別輸入総量)と交易二重確率を用いた3次元貿易モデルを設計



②1995年から2017年までの貿易データの異常値(図1)を修正した上で学習し, 貿易モデルの各種パラメータを設定。

③モデルによる過去の貿易量の再現性を確認(図2)

◆実統計値 vs ●モデル推計

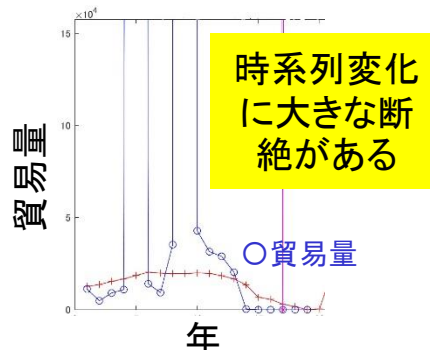


図1: 貿易統計データに含まれる異常値と考える貿易量

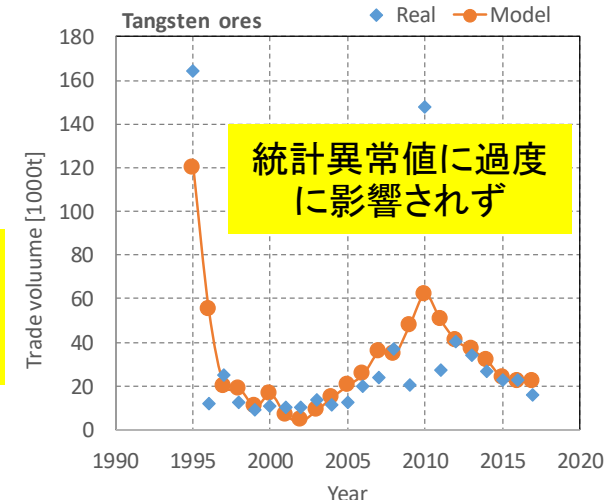
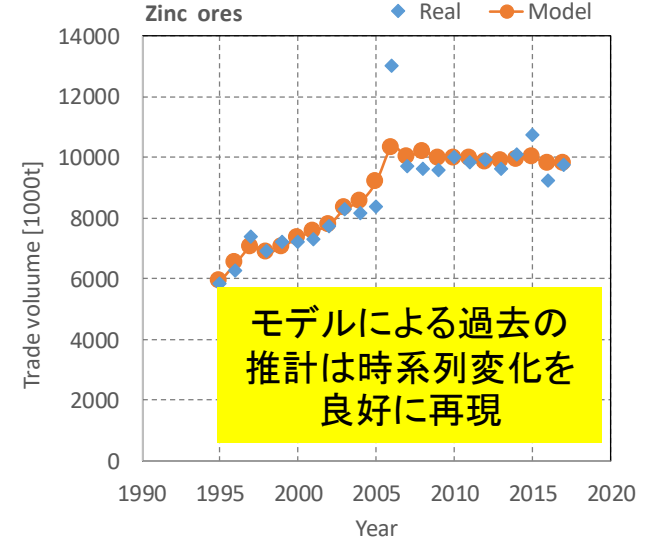


図2: モデルによる過去の貿易量(1995年~2017年)の再現性(上: 亜鉛鉱, 下: タングステン鉱)



# 気候変動による国際サプライチェーンの影響と 国内産業に関する適応策検討モデルの開発概要

サブ(2)関連

④ 昨年発表されたIIASAのSSP ver.2を利用し7つの排出シナリオ別に2100年までの貿易構造を推計

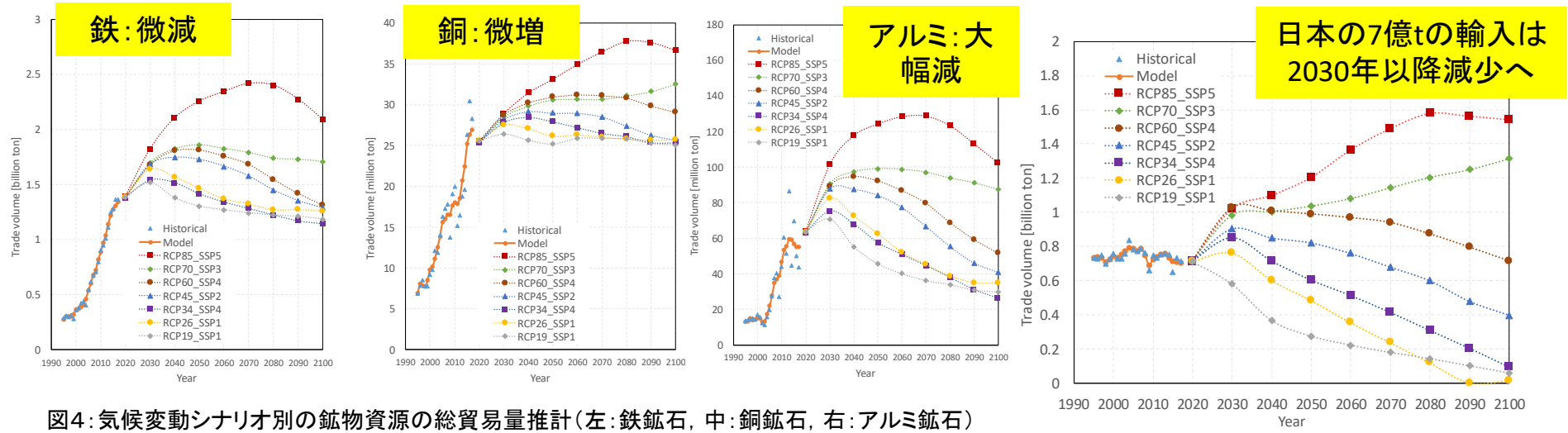
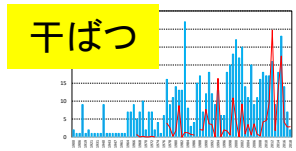
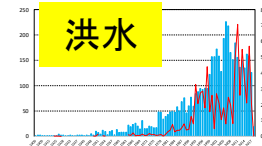


図4: 気候変動シナリオ別の鉱物資源の総貿易量推計(左:鉄鉱石, 中:銅鉱石, 右:アルミ鉱石)

図4: 気候変動シナリオ別の日本の総輸入量推計

## 自然災害時系列データ整備

貿易モデルの学習データ:  
モデルの国別に洪水, 暴風, 干ばつ, 野火, 異常気温に関する発生頻度と被害量の時系列データ(EM-DAT)を整備。

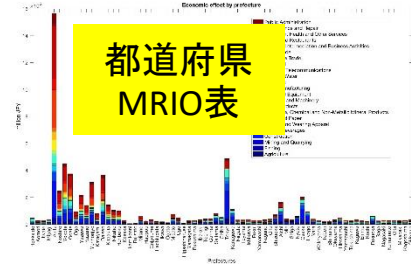


## 国内サプライチェーンモデルの開発

都道府県別の多地域間産業連関表を最新の2015年表に基づき作表中(シドニー大学と共同開発)。

Wakiyama et al (2019) DOI:  
10.1016/j.resconrec.2019.04.003

Wakiyama et al (2019) *Resources, Conservation & Recycling*, under review.



## 今後の計画

- ・貿易モデルに過去の自然災害, 作物収量(サブ3提供)を学習させ, それらの将来変化に応答するモデルに改良
- ・国内サプライチェーンと接続し, どの県のどの産業が貿易量の変動リスクが大きいかを同定
- ・適応策の一環として, 必要となる資源生産性の改善レベルを検討

### (3)「国外の気候変動影響による食料生産変化が日本の食料輸入に及ぼす効果に関する研究」

担当者: 櫻井玄・森山涼子(農研機構)

役割: 主に日本が輸入に依存する農作物(特に、普通作物及び家畜類の飼料作物)について、気候変動と生産性との関係を解析し、将来における気候変動によるリスクを評価するとともに、そのリスクに対する適応オプションの検討を行う。解析方法としては、統計的な解析とプロセスベースモデルによる解析を併用することで、幅広く多角的に解析する。

#### 今までの成果

2018年度: 日本が輸入に依存する普通作物及び飼料作物について、気候変動と作物生産性との関係を解析する。解析手法としては、統計的な手法による解析とプロセスベース作物モデルの改良を併用する。

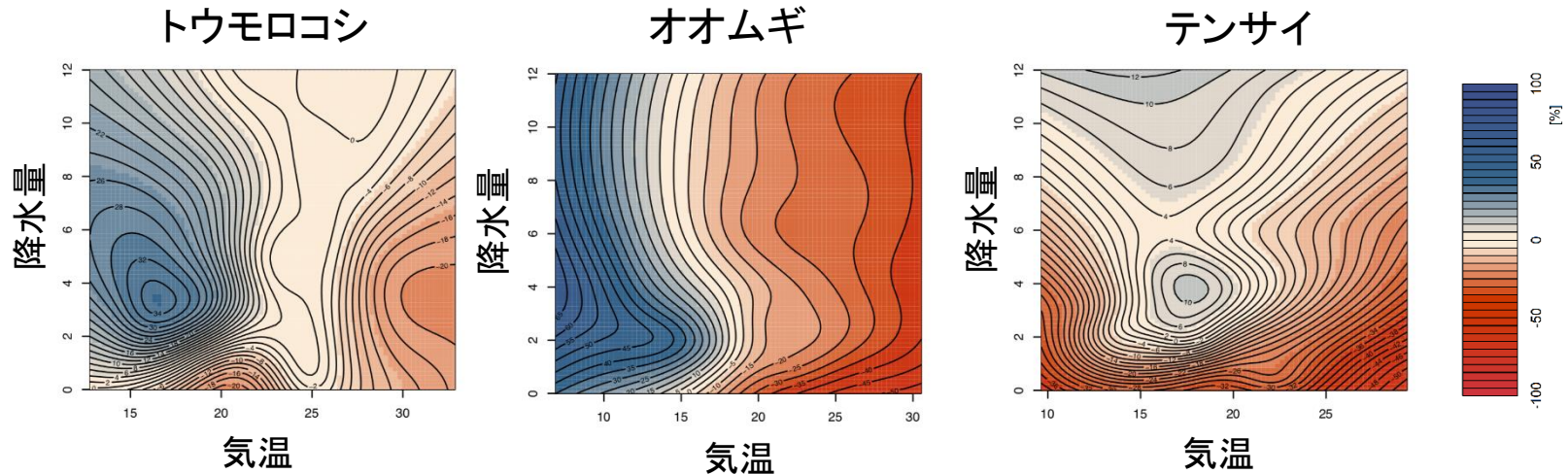
2019年度: **作物の今後の生産性の定量的予測**。上記の解析結果と将来の気候シナリオの情報を照合させる。生産国で想定可能な適応策や社会経済情勢も含めて検討する。

2020年度: サブ2との連携。貿易モデルで特に日本の食料供給に影響を及ぼしうる国や作物に関して、特に将来的にリスクが大きかったものの適応オプションを調査する。

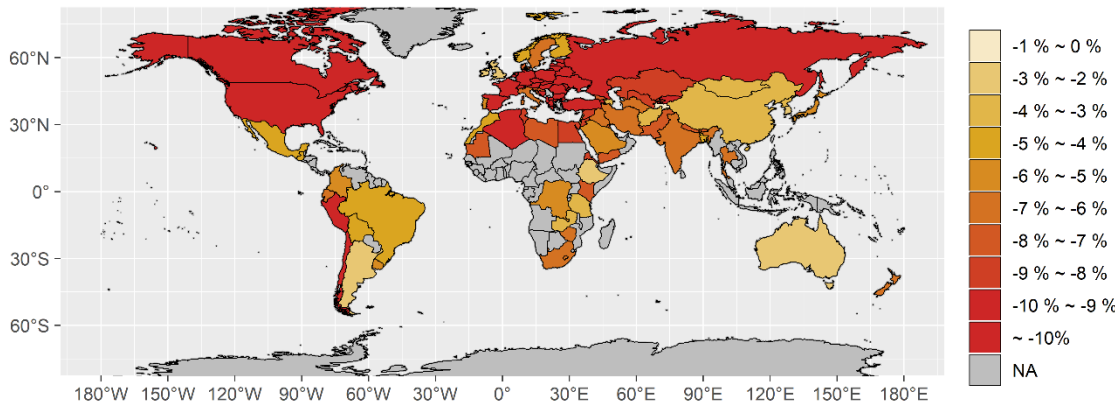
昨年度の成果：気象と作物収量の関係について、これまで全球で解析されてこなかったマイナー作物も含めて統一的な統計解析を行った

## 気温と降水量が作物収量に与える影響

降水量・気温を説明変数として、スプライン関数を線形接続した一般化加法モデルで解析



現在よりも1度気温が上昇した場合の収量変化(オオムギ)



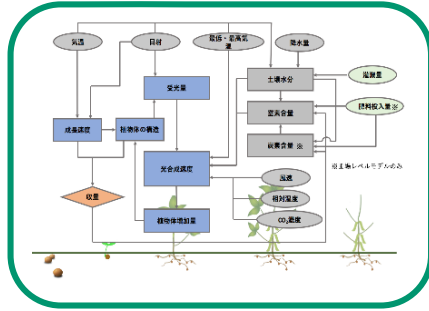
主食や飼料、食用油として重要な複数作物(大麦・キャッサバ・落花生・トウモロコシ・オーツ麦・小麦・菜種・イネ・ソルガム・大豆・テンサイ・ヒマワリ・サツマイモ・ヤムイモ・ライ麦)について、気象の変化が作物の生産性に与える影響を世界規模で調べるために、過去の気象データと作物収量データを用いて統計モデル化。十数の作物について、統一的手法で**全球レベルで気象と収量の関係を解析した初めての研究。**  
(論文投稿準備中)

# 昨年度の成果その2: 気象と作物収量の関係性解析を目指した プロセスベース作物モデル改良

## PRYSBI2

Sakurai et al. 2014,  
Okada et al. 2018,  
Sakurai et al. *in review*

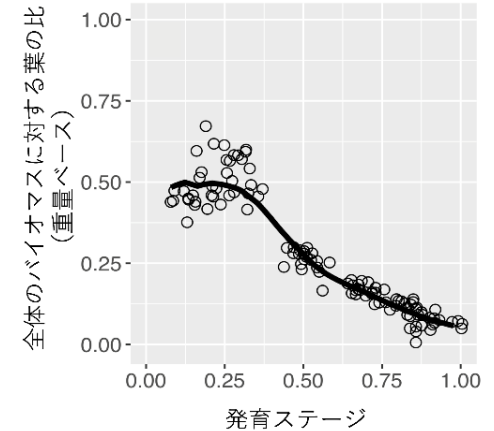
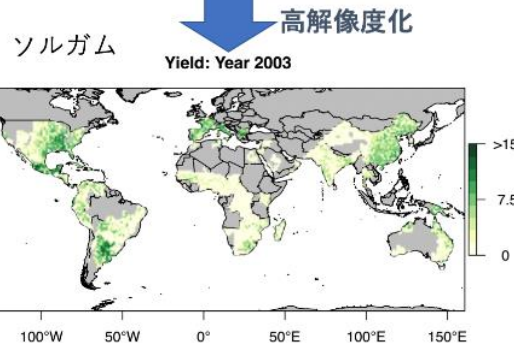
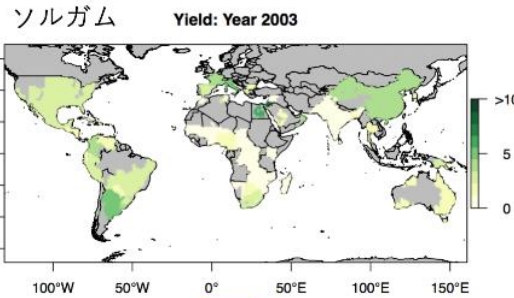
主要作物 (トウモ  
ロコシ, コメ, コム  
ギ, ダイズ)



プロセスベースの作物モデルの改良として、作物体構造決定に関するモジュールを、栽培試験のデータを利用して最適化することで、頑健な将来予測が可能なモデルに改変した。

階層ベイズモデル的な手法を適用し、国ごとの収量時系列データを元に、国内のパラメータの地理分布を推定するプロトコルを開発した。

ソルガムなど国ごとのデータしか存在しない作物でも、高解像度化が可能になった。



発育ステージと葉のバイオマス比に注目することで、品種が異っても安定的に作物体の構造を決定することができる。

## 主な業績

<論文 (査読あり)>

1) R. Fukuyama and G. Sakurai: Journal of Agricultural Meteorology, DOI: 10.2480/agrmet.D-17-00034 (2019) Comparison of the robustness of methods for estimating leaf development for crop growth models.

<その他誌上発表 (査読なし)>

櫻井玄: 統計数理研究共同研究リポート416 環境・生態データと統計解析(6) (2019) 作物収量の統計解析: 収量の時系列をどう扱うか?



## (4)「アジア地域における気候脆弱性リスクに関する研究」

**担当者:** 田村堅太郎・P.V.R.K. Sivapuram,・池田まりこ・Rajib Shaw (地球環境研究戦略機関 (IGES))

**概要:** アジア地域全体で気象災害への即応能力を高めることで、気候安全保障の向上を図ることを目的に、**アジア諸国の脆弱性と国際緊急支援への依存度の関係を把握**するための気候脆弱性インデックスを開発するとともに、特定の国において国際緊急支援要請を発動するような災害レベルの閾値を把握するための「**臨界閾値**」を開発する。

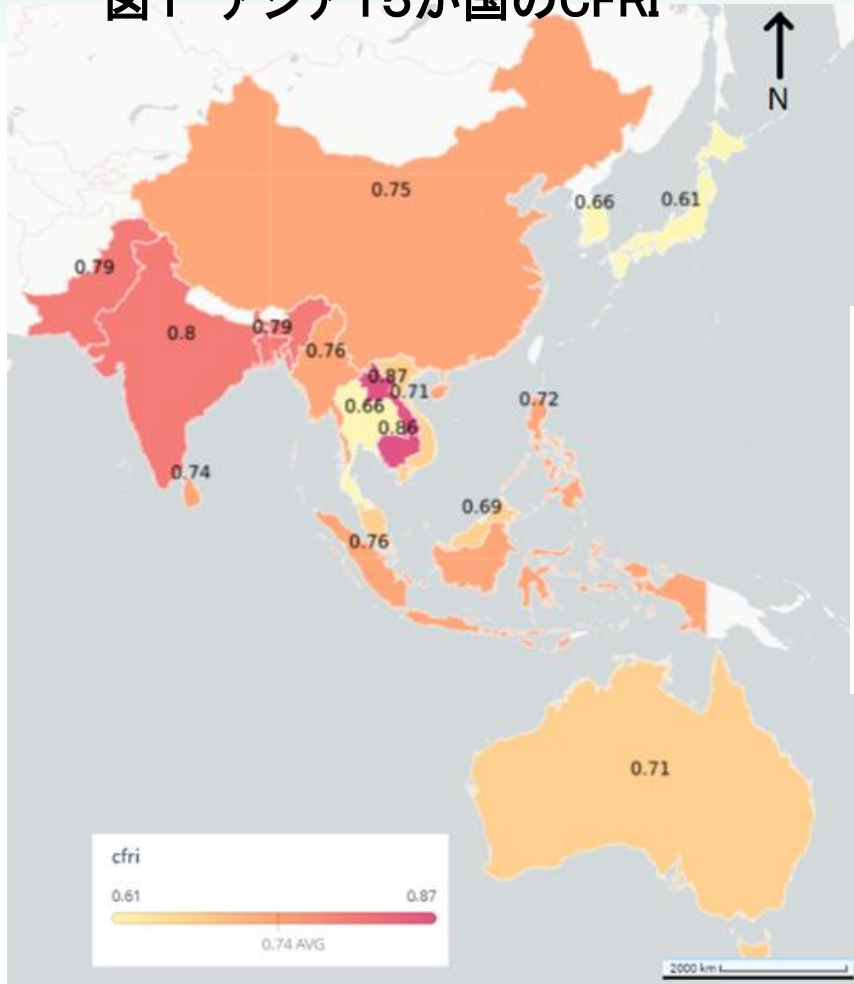
**2018年度の成果:** 災害救援を提供する国の能力を測るための**気候脆弱性リスク指標 (CFRI)**を開発し、国の脆弱性と国の経済発展レベルに相関関係があることを明らかにした。

### 気候脆弱性リスクインデックス (CFRI) の開発に用いた指標

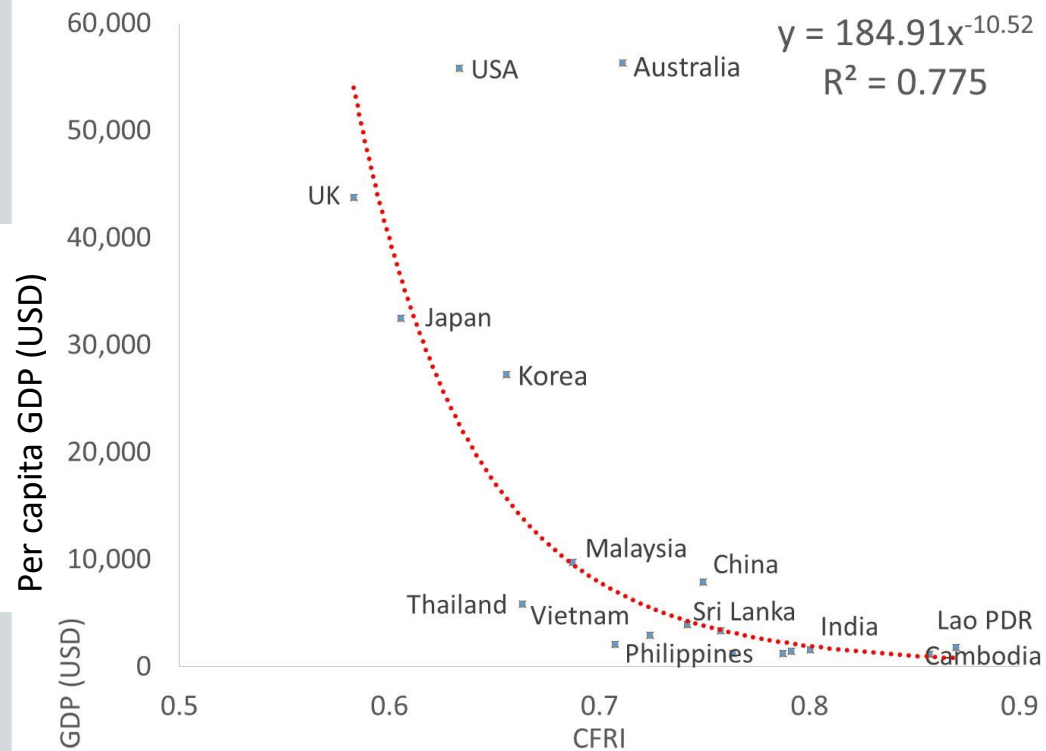
指標	代理指標	根拠と限界	情報源
地元の水競争	水ストレス指標	より高い水ストレスは、より激しい水競争をもたらす。しかし、水ストレスが常に緊張や衝突を引き起こすとは限らず、世界銀行のガバナンス指標に代表される地方政府や社会システムに依存する。	(WRI, 2018)
極端気象	気候リスク指標	気候リスク指標は気候災害に関する最も包括的な指標であり、多くの国で定期的に作成されている	(Germanwatch, 2017)
移住と国内難民		国内難民監視センターは、国内難民や移住者の数を一定の正確性をもって提供している。人口に対する割合で表される。	(IDMC, 2018)
食料価格変動		食料変動価格は、過去10年間の現地通貨での主要な穀物価格の標準偏差として計算される。	(FAO, 2018)
海面上昇	海面上昇によって影響を受けた人口の割合	海面上昇によって影響を受けた人口の割合は、海面上昇の変化そのものよりも社会経済的なインパクトを反映する。	(Climate Central, 2015)
政策の意図しない効果	世界銀行規制質指標 (WRQI)	政策の意図しない効果を検証できる方法はまだない; しかし、WRQIは、政策効果に近い評価を提供する。つまり、政策・規制の質が高いほど、意図しない効果は最も少ないと仮定される。	(The World Bank, 2018)
損害補填	保険の請求	損害保険は、災害を含む多様なリスクのために損失に直面する企業の傾向を示す。しかし、政治的・社会的不安は保険商品によって、十分に示されない可能性もある。	多様な情報源

# 昨年度の成果: CRFIを用いたアジア諸国の気候変動リスク評価結果

## 図1 アジア15か国のCFRI

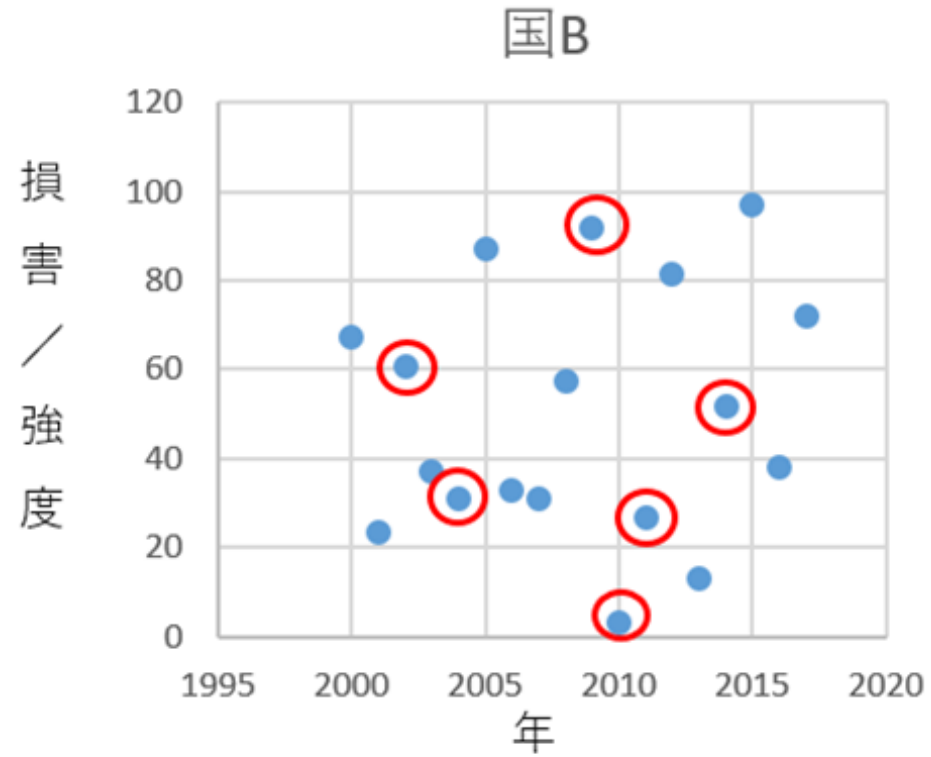
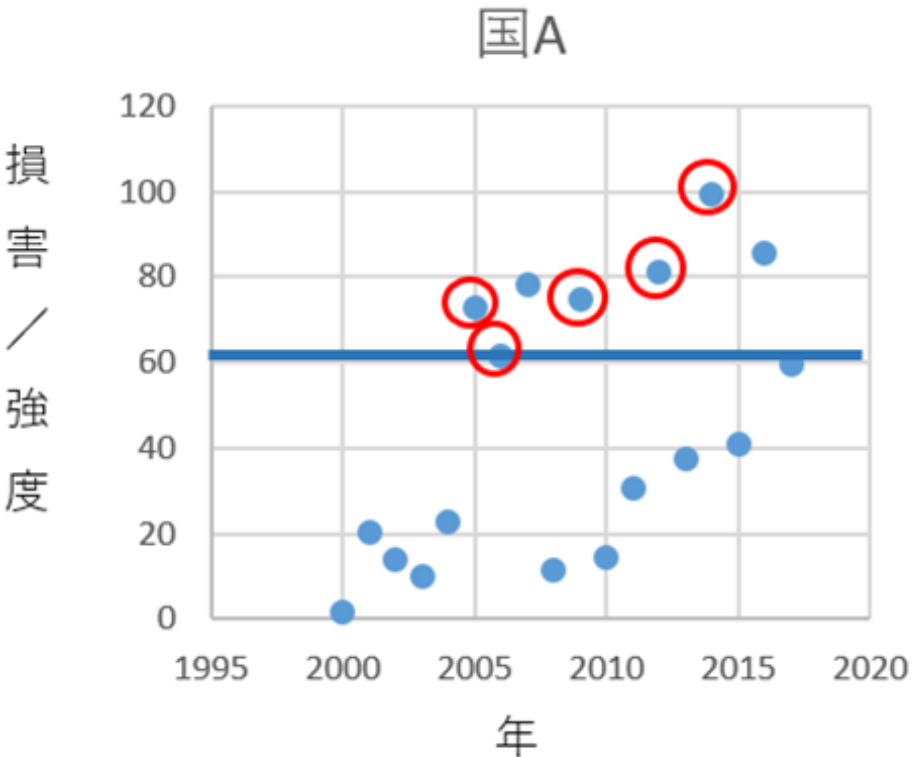


## 図2 CFRIと経済発展レベルとの関係



- 図1 アジア15か国のCFRI。同図には示されていないが、CFRIはリスクの質の違いも確認できる。
  - フィリピンは水資源へのアクセス、パキстанは食糧価格の変動、ベトナムとタイは海面上昇へのリスクに対する曝露レベルが高い。
  - 他方、国内難民や国の統治システムの質に関する指標に大きな違いはなかった。
- 図2 経済発展レベルと気候脆弱性リスクと間に強い相関関係があることも確認された





### 臨界閾値のイメージ

注：青の点が災害、赤丸が国際救援要請をしたことを意味する

- 「臨界閾値」の概念は、ある国において気候変動の悪影響が一定の閾値を超えると、その国は国際緊急援助を要請する、という仮説に基づく。この仮説が成立すれば、このような閾値を事前に把握することで、対外人道支援・災害救助活動の即応能力を向上させることが可能となる。
- 昨年度は、災害救援に関連する政策やキャパシティについて理解し、災害やそれに対する救援に関する予備的なデータを取集するために、文献調査および現地調査を実施。特にフィリピンにおいて臨界閾値の概念への関心が高いことも確認された

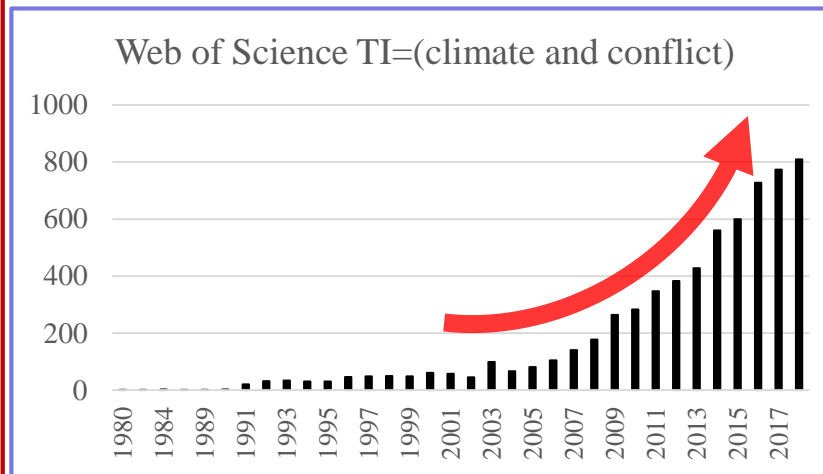
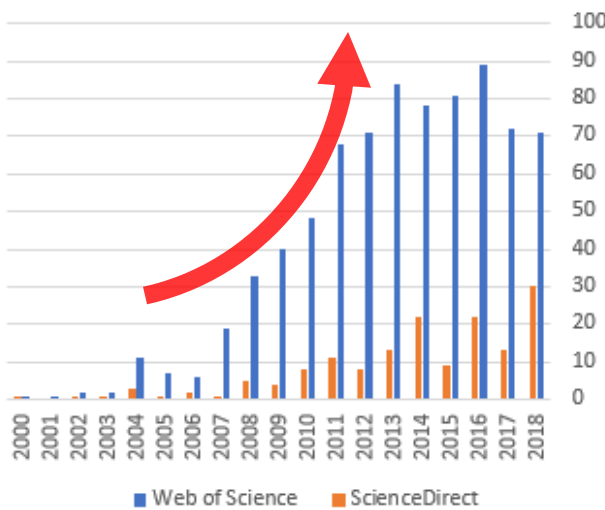
# (5)「気候変動と安全保障概念の理論的側面に関する研究」

担当者: 蓮井誠一郎(茨城大学)

役割: 気候変動と安全保障に関する既往論文や著作などの文献資料を最近のものを中心に収集し、概念整理を行う。また、日本で気候変動を安全保障概念に適用するにあたって、人間安全保障や総合安全保障を含む国内でのこれまでの議論をふまえつつ、有用なロジックを抽出する。これに役立つ海外の事例についても必要な調査を行う。

## 今までの成果

タイトルにClimateとSecurityを含む論文・著書数はグレンイーグルズG8サミットの2005年以降増加。日本発の研究成果はあまり見当たらず、この研究分野での日本のプレゼンスは低い。



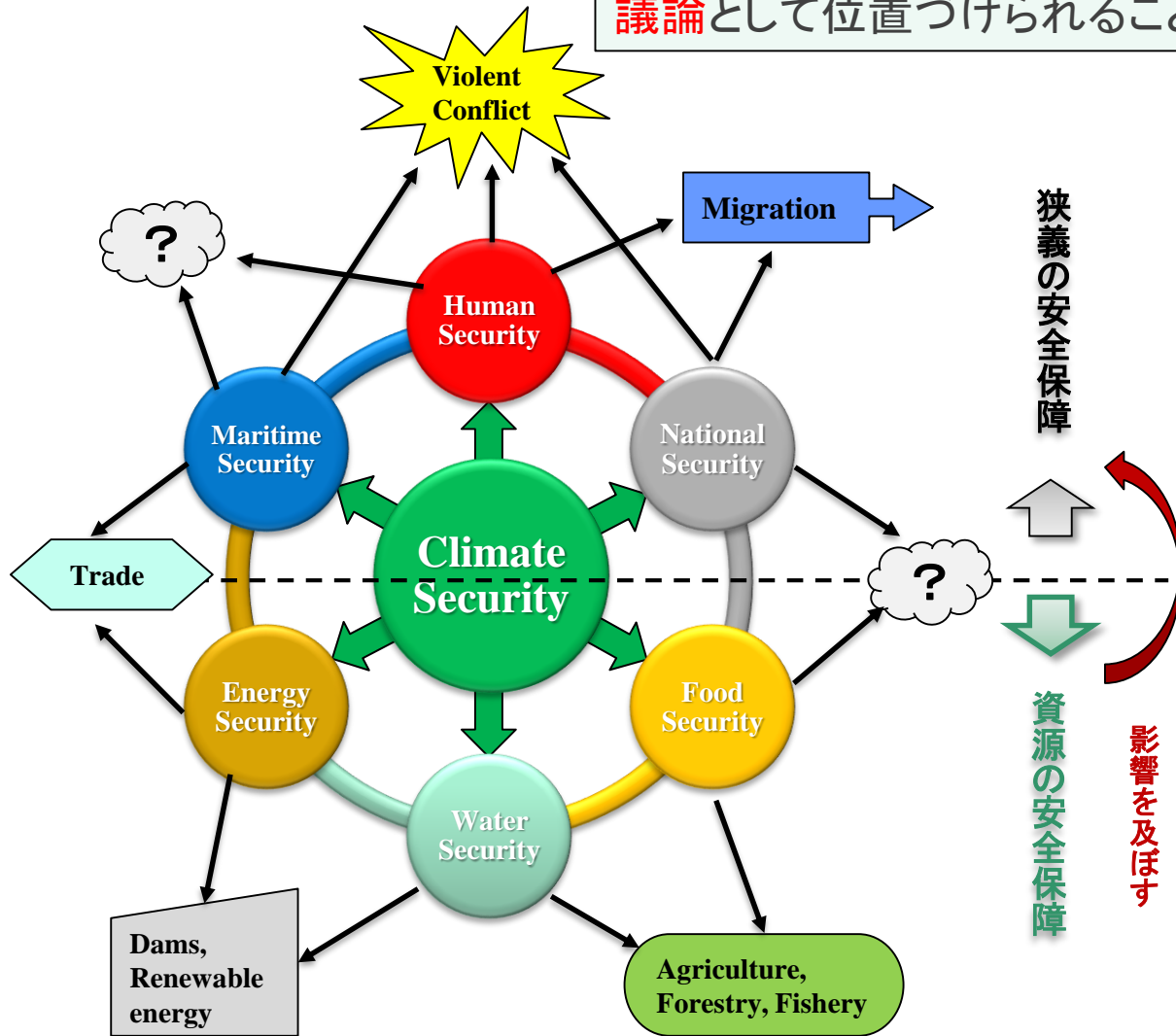
- ・気候と紛争に関する研究は増加の一途。
- ・紛争の原因は多様。資源、水、食糧、人の移動、テロ、海上交通など。それらの原因となる気候変動影響も複雑に絡み合うものが指摘される。

これまでの業績一覧:

- ・著書(予定): 蓮井誠一郎、前田幸男「第6章:地球環境/エネルギー問題と気候安全保障」南山淳、前田幸男編著『批判的安全保障』(法律文化社、2019年)
- ・口頭発表: 蓮井誠一郎:河村一先生退職記念研究会(2018)「気候変動と安全保障:学術界での第二の波と日本の環境外交の動向」
- ・国民との科学・技術対話:①日越大学(VJU)大学院生向け講義“Climate Change and Security”(分担。2019年3月11-13日の計9時間、ハノイ、VJUキャンパス、14名受講)
- ②蓮井誠一郎、ひたちなか市市民大学「気候変動と安全保障～気候変動が戦争のリスクを高める?～」(主催:ひたちなか市生涯学習課、2019年6月25日、ひたちなか市子育て支援・多世代交流施設「ふぁみりこらぼ」、受講生39名)にて講演
- ③蓮井誠一郎、日立アカデミー日工専研修「気候変動と安全保障リスク」(日立製作所社員研修。2019年7月25日～8月1日。受講7名)にて講義
- ・国際共同研究等の状況①日越大学ナイジェリア留学生との共同研究“Climate Change and Conflict in the Coastal Areas of Africa”2019年度夏に開始。

# 今後の研究計画 「気候変動安全保障概念の包括性」

Climate Securityは多様な安全保障分野をつなぎ統合する議論として位置づけられることが文献調査で明らかに。



## 今後の研究計画

①政治・政策レベルでの議論のすくい上げが必要。政策文書を対象としたサーベイを実施。

②80年代の総合安全保障論、90年代の環境安全保障論は、日本の気候安全保障のルーツともいえる。過去の国内の議論を踏まえ、現在の研究動向と合わせて、未来の気候安全保障を反映した適応政策のあり方を提言。

③気候安全保障を日本の安全保障の原点として見た場合に気候科学研究に基づいた脅威増幅要因として何がみえるか、新たな安全保障レジームの形成にどのような影響を与えるかを精査する

# (6) 国際制度による気候変動リスクへの対処方策に関する研究

担当者: 高村ゆかり(東京大学)

役割: 気候変動枠組条約・パリ協定その他、G7等関連する国際ガバナンスにおける気候変動と安全保障に関する制度論の研究

2018年度、2019年度

2019年度

気候変動枠組条約・パリ協定  
(損失と損害など)

人の移動  
(displacement)

極端現象など  
による経済損失・損害

国際的機構  
設置?

保険などリスク  
移転?

健康リスク  
食料安全保障

WHO強化  
情報交換  
いかに?

金融システムの  
不安定化

企業の気候  
変動リスク  
情報開示

国際的に重点的対処が必要なリスク、特に、日本にとって重要となるリスクの同定とその対処方策・制度の実効性に関する研究

2020年度

国際組織や制度を活用した気候変動リスクを抑制し、最小化する国際的なガバナンスのあり方を研究

国の適応計画・適応政策や、パリ協定、G20などでの政策議論に貢献

# 今までの成果: 気候変動枠組条約で重点とされるリスク 「人の移動」の議論の整理

- 途上国における損失と損害のためのワルシャワ国際メカニズム(2013年設置)を軸に対処を進める
- 作業部会を設置し、「人の移動」について取り組みが強化・前進
  - 「人の移動」に関するデータの把握の進展
    - 年平均移動約1400万人。その約4分の3(=約1000万人)が洪水による。早期警報システムの有効性。防災・減災とのリンケージが明らかに。アジア・太平洋地域で全体の3分の2を占める
  - データ、知見のギャップが、人の移動の問題の規模と重大性への認識形成と対策進捗を阻害
    - 災害による人の移動を体系的に勘定する方法の確立。人の移動のリアルタイムデータ、時系列のデータが、再興計画や防止、リスク低減の措置に必要
    - 移動のデータとリスク評価に関する各国の主導性と資源の動員が必要
  - 人の移動に関する他の機関との連携と統合的アプローチが鍵
    - 防災、人道支援、難民保護など権限と経験を有する国際機関や非国家主体の連携が鍵
      - 国連高等難民弁務官事務所 (UNHCR)、国際移住機関 (IOM)、国連人権理事会、仙台防災枠組等との連携が具体的な対策の進捗を支える
    - 保険などリスク移転は重点課題の一つだが、気候変動レジームでは対策は進まず。例えば、保険会社も参加するInsuResilience Global Partnershipとの連携
- 政策的含意
  - 日本、アジア地域の人の移動に関する研究とリスク評価の必要性
  - 日本の対外支援策へのインプット



# 今後の研究計画：重点的研究対象の気候変動リスク

※気候変動の国際制度以外の国際制度において、重点的な対処が必要と認められる気候変動リスク、特に日本にとって重要度が高いリスクの同定と対処する制度に関する研究を進める。

## ● 海面上昇リスク

- 海面上昇に起因して島などが喪失した場合、領海や排他的経済水域がどうなるかなど海の国際ルールの検討
- 海洋境界画定、海域の資源、安全保障にも関わり、周辺国との関係で大きな外交上の問題となり得る
- こうした観点からは、国の気候変動影響評価ではほとんど検討されていない

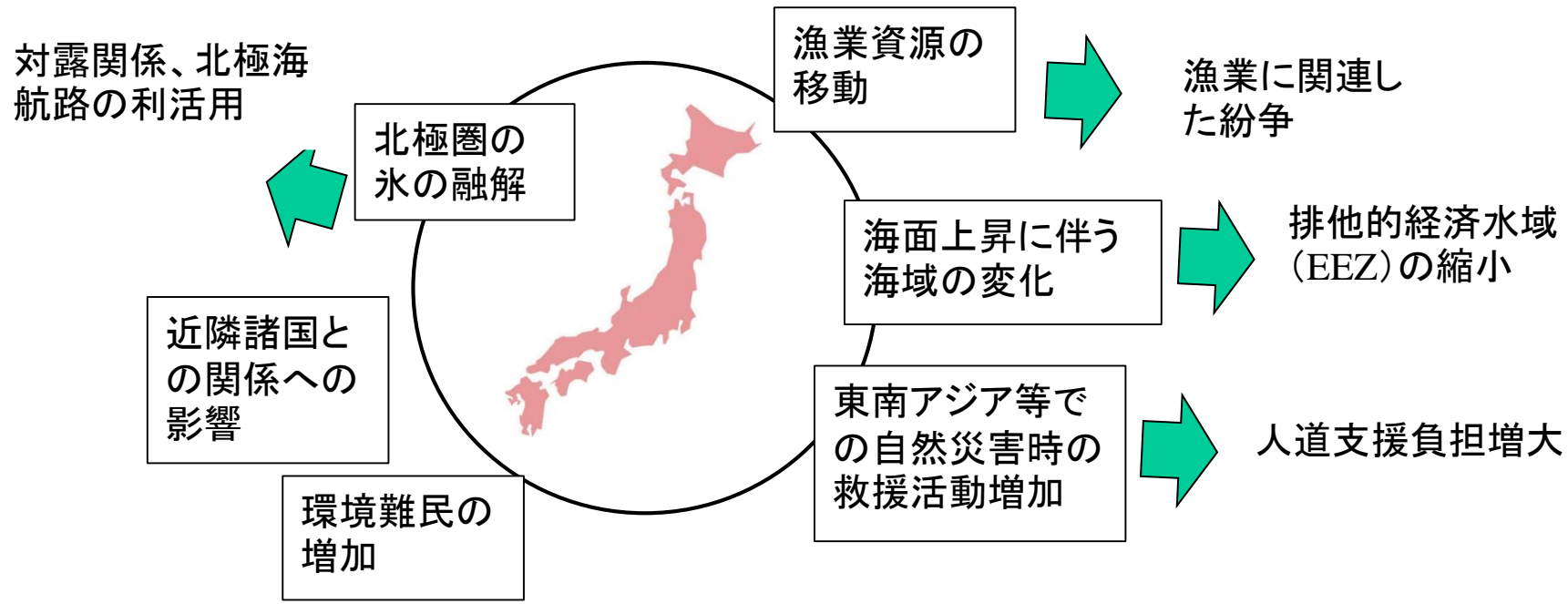


- 気候変動関連財務情報開示(TCFD)を軸とした効果的な気候変動リスクへの対処の制度検討
  - G20と金融安定理事会を軸に企業による情報開示の取り組みが日本でも大きく進展
  - 2019年3月の東洋経済のアンケートでは、上場企業108社のほとんどが、製品・サービス供給、原材料の調達リスク、自然災害リスクがあると評価
  - 日本企業が何を重点リスクと評価しているか、適切な評価手法などさらなる分析とともに、TCFDを軸とした効果的なリスク対処の制度を検討

※人の移動など国連の重点リスクに関する情報もあわせて、**東京大学HPに情報プラットフォームを構築** <https://ifi.u-tokyo.ac.jp/units/governance-for-sustainability/>



# 気候安全保障 (climate security) について



## まとめ

- 日本の国民生活や企業行動に影響を及ぼす気候変動影響は、国内の集中豪雨や熱中症にとどまらない。国外で生じる異常気象等は、貿易やサプライチェーン等をつうじて、日本企業の経済活動や市民の食料調達に影響を及ぼす。
- また、日本の領土の縮小や、近隣国との関係、移民の流入など、いわゆる「安全保障」と呼ばれる分野においても気候変動による影響を吟味すべきであろう。
- 本課題では、今後、2030～2050年の気候変動影響の増加を地域ごとで示した情報を各サブテーマに共有し、それぞれの観点で、将来の気候変動影響が日本に対していかなるインプリケーションを持つかを検討し、「日本へのリスク」として総合的に提示する予定。

ご清聴ありがとうございました。

