

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

適応策立案支援のための地域環境を考慮した多元的脆弱性評価手法の開発
(2-1708)

平成29年度～令和元年度

Development of pluralistic evaluation system of vulnerability to climate change for local
environmental planning

〈研究代表機関〉

国立研究開発法人国立環境研究所

〈研究分担機関〉

株式会社E-Konzal

〈研究協力機関〉

富山県立大学

令和2年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	1
2. 研究開発目的	1
3. 研究開発の方法	2
4. 結果及び考察	2
5. 本研究により得られた主な成果	4
6. 研究成果の主な発表状況	4
7. 研究者略歴	8
II. 成果の詳細	
II-1 革新的手法を用いた多元的脆弱性評価システムの開発 （国立研究開発法人国立環境研究所） 要旨	9
1. はじめに	9
2. 研究開発目的	10
3. 研究開発方法	10
4. 結果及び考察	20
5. 本研究により得られた成果	38
6. 国際共同研究等の状況	39
7. 研究成果の発表状況	39
8. 引用文献	46
II-2 気候変動適応策の策定に資する脆弱性評価指標の研究 （株式会社E-konzal） 要旨	47
1. はじめに	47
2. 研究開発目的	47
3. 研究開発方法	48
4. 結果及び考察	51
5. 本研究により得られた成果	64
6. 国際共同研究等の状況	65
7. 研究成果の発表状況	65
8. 引用文献	66
III. 英文Abstract	67

I. 成果の概要

課題名 2-1708 適応策立案支援のための地域環境を考慮した多元的脆弱性評価手法の開発
 課題代表者名 大場 真 (国立研究開発法人国立環境研究所福島支部地域環境創生研究室室長)
 研究実施期間 平成29～令和元年度
 研究経費(累計額) 95,114千円
 (平成29年度:32,242千円、平成30年度30,630千円、令和元年度:32,242千円)

本研究のキーワード 脆弱性評価指標、脆弱性評価システム、地域将来推計、地域適応計画、主観的多元評価、脆弱性可視化、参与型手法の開発、インパクトチェーン、感受性、適応能力

研究体制

- (1) 革新的手法を用いた多元的脆弱性評価システムの開発(国立研究開発法人国立環境研究所)
- (2) 気候変動適応策の策定に資する脆弱性評価指標の研究(株式会社イー・コンサル)

研究協力機関

富山県立大学

1. はじめに(研究背景等)

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第五次評価報告書では気候変動による影響が今後深刻化し、今世紀末に産業革命以降の気温上昇を2℃程度に安定させたととしても被害増加は避けられず、“適応策”を講じて予想される悪影響に備えることが急務であることが明らかとなった。政府は2015年11月に「気候変動の影響への適応計画」を閣議決定した。今後は、自治体の適応計画策定や、産業界でも事業継続計画の一環として適応計画検討が進むと期待される。

これまで気候変動影響や適応策に関する研究は環境省・環境研究総合推進費S-8やS-14、さらに2015年度から社会実装を念頭においた気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)などにより行われている。多様な分野における気候変動の影響・被害、及び適応のための対策が専門分野別の研究者により検討されているが、影響評価の際にハザードと暴露にのみ焦点をあてており、地域環境特有の脆弱性を考慮したリスク評価が十分に考慮されていないことが課題である。自治体や企業における担当部課レベルでの適応策の立案・実施には、対策の優先順位や実施のタイムラインの提示が必要であり、そのためには地域性を持つ脆弱性を含めた多元的な評価が求められる。既に科学的根拠が示され、社会の各影響分野において気候変動への適応策の策定を進める必要があるこの時期に、地域環境の脆弱性に関する多元評価が可能な適応策支援システムを開発する本研究には大きな意味がある。

しかし地域環境の脆弱性の違いにより気候変動によるリスクは異なり、そのリスクを多元的に捉え、国・地域の適応計画をより効率的効果的に実施することが必要である。本研究はこれらの地域適応ニーズを背景として実施された。

2. 研究開発目的

本研究では先行研究を基盤として、脆弱性の概念を整理した上で地域環境の脆弱性が気候変動による影響にどのように関わるかについて精査し、ステークホルダーにも運用可能な脆弱性評価のためのシステムを、革新的手法を用いて開発する。このような地域ごとに異なる脆弱性の概念は自然災害や様々なリスク対策にも適用可能と考えられた。

具体的には、既往研究における気候変動影響・リスク評価の結果を集約するとともに、地域別の脆弱性について多元的に評価を行うシステムVulpes(Vulnerability Pluralistic Evaluation System)を開発した。Vulpes開発のための脆弱性概念や気候変動影響の整理、システムと指標のプロトタイプを開発

した。また、Vulpes Iでは全国適用可能な脆弱性指標やインパクトチェーンを用いて、都道府県レベルにおける脆弱性・気候リスクを早期に査定した。Vulpes IIは人工知能を用いた意味論的推論によって地域環境における脆弱性評価を行った。

本システムは実際に適応策を立案する自治体や企業の担当部課でも運用可能であることを目指した。また気候変動だけでなく地域における様々な脅威とそれに対する脆弱性を包含的に分析する拡張性を持たせた。

3. 研究開発の方法

(1) 革新的手法を用いた多元的脆弱性評価システムの開発

国立環境研究所が、既往の影響評価研究を踏まえ、適応計画立案のための多元評価システムを開発した。具体的には、既往影響評価結果を集約化し、地域における脆弱性を多元的にスクリーニングする手法を開発した。さらにサブテーマ2から提供される脆弱性評価指標を参考にしながら、将来の社会経済変化に関する情報を実装し、多元的評価を論理推論するシステム(Vulpes II)を開発し試験的評価を行った。更に地域適応策立案が必要な担当者の意見などを踏まえながら、これらの成果の応用と今後の課題を整理した。

(2) 気候変動適応策の策定に資する脆弱性評価指標の研究

株式会社E-Konzal（イー・コンザル）が担当し、脆弱性の概念の整理と地域脆弱性についてその評価手法の開発と指標による推定を行った。具体的には概念整理・定義付けにあたり、気候変動の適応分野に加えて同様・類似の概念について既往研究について幅広く情報収集し、概念の整理を行った。主たる影響分野ごとに脆弱性指標候補をリスト化し関連情報とともにデータベース化した。次にこのリストから、影響分野ごとに脆弱性の指標群のパッケージを抽出した。最後に、専門家へのヒアリング等を通じて各脆弱性指標の重要度を推定し、日本全国における地域ごとの脆弱性評価を実施可能なフレームワーク(Vulpes I)を開発した。

4. 結果及び考察

(1) 革新的手法を用いた多元的脆弱性評価システムの開発

地域の気候変動に対する脆弱性や気候リスクを可視化・評価するVulpes IIを開発し、これらの成果を地域気候変動に応用する手法について研究開発を行い、一部地域適応計画に反映された。

既往気候変動影響・リスク研究データ、将来社会経済システム変動データの集約・共有を以下のように行った。既往研究で得られた気候変動影響・リスクを含むデータを収集し、開発システムで利用可能なようにデータの加工変換、データベースを整備した。地域スナップショットモデル（地域SSモデル）を利用して、東北6県の市区町村レベルにおける、2050年の将来の人口、産業別生産額、従業者数等を2成長シナリオの元で推計した。また国土数値情報をベースとして現在(2014年)の土地利用状況を、衛星写真などを用いて確定させ、地域SSモデルの出力に基づき、人口が減少して局面での土地利用変化を予測するモデルを開発した。農地と建物用地において将来無管理化する土地利用種を設け、将来の人口予測などの説明変数によって無管理化する土地面積と配置を予測した。以上を元に東北6県の100mメッシュレベルでの土地利用を4シナリオの元で推計した。将来の気候変動予測と本研究で得られた土地利用予測に基づいて、鳥類種の分布予測、水質モデルを開発した。

多元的評価手法の検討とその評価システムの開発を行った。自治体ニーズ(住民への訴求効果)などを踏まえて、気候変動が国民生活・都市生活に与える影響をアウトカムの視点から多元的・統合的に評価するための手法を開発した。既存の国民生活・都市生活に関連する指標から、気候変動との関連が深いCC-QOL(Cilmate Chnage-Quality of Life)要素指標を抽出した。アンケート調査を実施し、市民のCC-QOL要素指標への価値観をコンジョイント分析により評価した。その結果に基づいて、全国を対象として市区町村単位のCC-QOLの統合値を推計し、暑熱や洪水リスクなど様々なリスクが高い西日本のほうが、東日本より評価値が低い傾向にあること、大都市の郊外部で特に低い値を示すことが分かった。さらに、

福島県を対象とした詳細評価を実施することで、気候変動や適応策実施がCC-QOLに与える影響を評価した。

サブテーマ2の脆弱性分析や指標整備結果を踏まえ、地域の脆弱性を多元的に評価をするための手法を開発した。気候変動脆弱性や気候リスクをコンピューター上で意味論的に推論できる、新規開発した論理エンジン付きGISシステムによって脆弱性などを可視化するVulpes IIを実現した。サブテーマ1で開発された全国レベルでの脆弱性評価システム(Vulpes I)との比較を行い、地理的スケールなどが脆弱性概念に与える影響を分析した。

これら多元的評価システムより実務的な出力が可能となるよう、かつ開発中に示されたフレーム問題などに対処するため、地域適応に関わる行政担当者からの気候変動対策ニーズを把握した。また参与型で地域特性に応じた、地域の脆弱性やそれに対応する適応策を決めるフレームワークを開発した。このフレームワークを元に、地方自治体の環境を担当する職員とともにワークショップを開催し、地域に応じた具体的な脆弱性や適応策を収集した。以上を通じて、革新的手法を核として、ワークショップを実施することで、ステークホルダーにより運用することが可能な脆弱性評価のための枠組みを開発した。連携自治体にシステムの評価を依頼し、今後の必要な課題について整理した。その結果開発した手法は地域で適応策を立案する資料として、地域特性を具体的に影響として考慮し、その脆弱性を明らかにすることから適応策立案に有効であるとおおむね評価をいただいた。また気候変動に限らない地域リスクの発見ツールとして利用可能であることが指摘された。

(2) 気候変動適応策の策定に資する脆弱性評価指標の研究

脆弱性指標やインパクトチェーンを用いて、都道府県レベルにおける脆弱性や気候リスクを可視化するVulpes Iシステムを開発した。

気候変動に対する地域の脆弱性やリスクについて概念を整理するため、既往研究のレビューを行った。その結果、適応に取り組む目的を踏まえて指標を設定する必要があり、また特定の指標の設定そのものよりも、まず指標抽出のロジックやプロセスの構築を求めるべきであることが明らかとなった。かつ、地域の状況・背景や地域の適応における目的に合致したものとすることが求められるため、国と地域では指標にすべきものが異なる可能性があり、先進国と途上国の間や分野間でも同様であることも示された。普遍的な気候変動脆弱性指標によってではなく、対象地域の状況に即した評価を特定するためのフローの開発を行い、研究後半ではフローに基づき日本における都道府県レベルの評価手法を開発した。

まず出典やデータ源を明記した400以上の指標を含む脆弱性指標候補データベースを開発した。次に気候変動影響の連鎖を定性的に取り扱うインパクトチェーン(Impact Chain)という概念を導入した。インパクトチェーンにおいては気候変動外力から影響が生じる際に、どのような暴露、要素が脆弱性となり影響を増幅しうるかを可視化・図示が可能である。気候変動適応計画の内容を基に20分野で作成した。

次にこのインパクトチェーンによって示される脆弱性ごとに、全国的に適用可能な脆弱性指標を選定した。指標は大きく感受性と適応能力に分けられ、適応能力はさらに普及啓発と具体的な施策の実施(暴露の特性、制度、システム、人・組織等)に分類された。直接的に脆弱性を評価できる指標が利用可能でない場合は、代替指標を使用した。選定された脆弱性指標及び代替指標について統計等の公開データより約150指標のデータを、都道府県毎(可能なものは基礎自治体毎)に収集した。サブテーマ1と密に連携をとることで開発を進め、早期の出力評価を行った。

全国評価用に開発したインパクトチェーンや指標は、専門家ヒアリングや日本と近い状況にある海外の自治体等の指標と比較すること等により指標の入れ替えを検討し、指標の妥当性を高めた上で、精度を高めた。また、各指標の重要度による重み付けについて検討を行い、指標ごとに既往文献で評価されているもの、定性的に言及されているもの、それ以外と言う形で、科学的な文脈の中での確からしさを指標ごとの重要度として提案した。

最後にこのインパクトチェーンや指標を元に、分野別、都道府県別に気候変動に対する脆弱性とリスクを評価した。また最終成果物についても専門家・行政担当者の意見を聴取し、今後の課題を整理した。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

気候変動に対する地域の脆弱性やリスクについて概念を整理し、既往研究レビューを踏まえ、普遍的な脆弱性指標より、脆弱性・リスク査定の目的とともに地域特性(地理的なスケールだけでなく地域社会経済の特性も含め)を考察することが重要であることを示した。さらに目的や地域特性を踏まえて、指標のポテンシャル、影響連鎖、指標群の選定、脆弱性とリスクの評価のためのフレームワークを開発した(Vulpes I)。またVulpes Iにより、日本における都道府県レベルの20分野にわたる脆弱性・リスクの評価を実際に行った。

気候変動が将来生じる事を踏まえ、将来の社会経済変化やそれに伴う気候変動影響の変化、さらに脆弱性やリスクの変化について、市区町村より小さいレベルでの研究を実施し、この目的の研究のための方法論を提案した。影響が広範囲に及ぶことによるリスク評価について、多元性を考慮しながら統合化を図るため気候変動による生活の質の変化の測定方法を提案し、試行した。また意味論的推論エンジンによる柔軟に影響連鎖や脆弱性・リスクを可視化・評価するシステムを開発した。このシステムは行政担当者やステークホルダーでも操作可能である。

気候変動は広範囲に及び科学者や国だけの対応に留まらない、広範囲かつ詳細な対策が必要とされている。本課題では成果を、地方気候変動適応に携わる地方行政担当者とともに参与的に提供した。ワークショップなどを通じ、地域特性・地域ニーズに沿った気候リスクコミュニケーションに関する研究を国内で実施した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

国立環境研究所の気候変動適応センターと連携し、上述のような成果を地方適応計画の立案のための手法として提供し地方気候変動適応センター職員や地方自治体環境政策関連職員を中心としたワークショップの開催を行った。地域気候変動適応策樹立を目指す自治体(福島県棚倉町)への研究成果等の提供を行った。

<行政が活用することが見込まれる成果>

自治体が各地域の脆弱性を地域の実態に合わせて評価するスキーム(Vulpes I)を開発した。脆弱性指標データベースや都道府県レベルにおけるアウトプットである「脆弱性カルテ」を地方における気候変動の脆弱性やリスク、適応策立案のために提供する。自治体が地域の実態に合わせた脆弱性評価を行うことで、状況に沿った適応策の立案・実践に繋がることを期待できる。また、適応の実践と脆弱性評価を繰り返していくことで、指標に基づいた進捗管理を行うことができる。

さらに気候変動に対する脆弱性やリスクに関する情報として、Vulpes IIとそのデータ(東北地方における人口・土地利用予測、気候変動に伴うQOLへの影響評価など)を提供する。加えて、地方気候変動適応計画の立案のためのフレームワークの成果として、資料、セミナー講師、ワークショップファシリテーターなどの提供が可能である。関連して地域気候変動適応策立案に資する、ワークショップ等を開催する際の指針となる、ドイツ国際協力公社(2018)“Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation: A guidebook for planners and practitioners”を翻訳し、希望者に配布した。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Estoque R., Togawa T., Oba M., Gomi K., Nakamura S., Hijioka Y., Kameyama Y., AMBIO, 1-20 (2018)

A review of quality of life (QOL) assessments and indicators: Towards a QOL-Climate assessment framework

- 2) Osawa T., Yamasaki K., Tabuchi K., Yoshioka A., Ishigooka Y., Sudo S., Takada M.: Basic and Applied Ecology, 30, 41-51 (2018)
Climate-mediated population dynamics enhance distribution range expansion in a rice pest insect.
- 3) 渡邊学, 榎原友樹, 肱岡靖明, 大場真, 戸川卓哉, ロナルド カネーロ エストケ, 永井克治 (2018)
気候変動に対する脆弱性についての概念整理とそれにもとづく指標特定スキーム. 環境情報科学 学術論文集, 32, 61-66
- 4) Estoque R., Oba M., Avitabile V., Hijioka Y., DasGupta R., Togawa T., Murayama Y., Nature Communications, 10 (1829) (2019)
The future of Southeast Asia's forests
- 5) Estoque R., Gomi K., Togawa T., Oba M., Hijioka Y., Akiyama C., Nakamura S., Yoshioka A., Kuroda K., Science of the Total Environment, 692, 903-916 (2019)
Scenario-based land abandonment projections: method, application and implications
- 6) 大場真, 戸川卓哉, 渡邊学, 榎原友樹, 環境情報科学論文集, 33, 295-300 (2019)
気候変動に対する地域適応策のための脆弱性・リスク評価手法の開発: 地域レベル解像度-可視化 システムと気候リスクコミュニケーション
- 7) Estoque R., Oba M., Seposo X., Togawa T., Hijioka Y., Takahashi K., Nakamura N.: Nature Communications, 11, 1581 (2020)
Heat health risk assessment in Philippine cities using remotely sensed data and social-ecological indicators.
- 8) 戸川卓哉, 高野剛志, 森田紘圭, 大場真, Ronald C. Estoque, 近藤美沙希, 地球環境研究論文集 (2020、査読中)
気候変動が住民の生活の質 (QOL) に与える影響評価指標の提案

<その他誌上発表 (査読なし) >

- 1) 大場真 (2017) 地球温暖化の影響予測と適応策検討: 適応研究への AI 活用の可能性. 月刊ビジネスアイ エネコ, 50 (9), 24-26
- 2) 肱岡靖明 (2018) 1.5°C特別報告書のポイントと報告内容が示唆するもの. 月刊ビジネスアイ エネコ, (12), 24-27

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 肱岡靖明, 金沢エコ推進事業者ネットワーク第87回全体会 (2017)
気候変動の影響にどう向き合うか ~企業・地域として~
- 2) Ooba M., Estoque R., Hayashi C., Gomi K., Nakamura S., Yoshioka A., Kuroda K., Hijioka Y.: The 9th Ecosystem Services Partnership (ESP) world conference, Abstracts (2017)
Scenario analysis of the future ecosystem services in fukushima, Japan.
- 3) 肱岡靖明: 平成29年度 島根県地球温暖化対策推進会議 (2017)
気候変動による影響とその適応策
- 4) 肱岡靖明: 2017地球温暖化対策フォーラムinひょうご「気候変動がもたらす影響とその適応策」 (2017)
気候変動がもたらす影響とその適応策
- 5) Ohba M., Estoque R., Akiyama C., Gomi K., Nakamura S., Yoshioka A., Kuroda K., Hijioka Y.: The 9th Ecosystem Services Partnership (ESP) world conference, Abstracts (2017)
Scenario analysis of the future ecosystem services in fukushima, Japan.

- 6) Estoque R., Oba M., Togawa T., Nakamura S., Hijioka Y.: 9th ESP World Conference, Abstract (2017)
Future changes in Southeast Asia's forest cover and its ecosystem service value under the shared socioeconomic pathways (SSPs).
- 7) 肱岡靖明：第11回つくば3E（環境・エネルギー・経済）フォーラム会議（2018）
気候変動による影響とその適応策
- 8) 大場真、ESTOQUERONALD CANERO、吉岡明良、林希一郎：第65回日本生態学会（2018）
セマンティック統合モデルソフトを利用した生態系サービス評価：気候変動による影響
- 9) 肱岡靖明：農業気象学会 75周年記念大会一般公開シンポジウム（2018）
気候変動による影響とその適応策
- 10) Togawa T., Oba M., Estoque R., Gomi K., Yoshioka A., Kuroda K., Nakamura S.: 5th International Climate Change Adaptation Conference (Adaptation Futures 2018: Dialogues for Solutions), Abstract (2018)
Development of a pluralistic vulnerability assessment system considering regional environment for adaptation planning.
- 11) Estoque R., Oba M., Togawa T., Nakamura S., Gomi K., Hijioka Y., Yoshioka A., Kuroda K.: 5th International Climate Change Adaptation Conference (Adaptation Futures 2018: Dialogues for Solutions), Abstract (2018)
Downscaling future forest cover changes under the shared socioeconomic pathways: Implications for mitigation and adaptation.
- 12) Estoque R., Oba M., Togawa T., Gomi K., Akiyama C., Nakamura S., Kuroda K., Yoshioka A., Hijioka Y.: International Conference on Spatial Analysis and Modeling, Abstract (2018)
Spatial modeling of land abandonments in Fukushima Prefecture, Japan.
- 13) Oba M., Togawa T., Nakamura S., Gomi K., Yoshioka A., Kuroda K., Estoque R., Hijioka Y.: 13th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment systems, Abstract, 169 (2018)
Pluralistic Evaluation System of Vulnerability to Climate Change for Local Environmental Planning.
- 14) Oka K., Hijioka Y., Fukumura Y., Watanabe M.: Adaptation Futures 2018 (2018)
Process for creating A-PLAT: A website to facilitate implementation of the National Adaptation Plan in Japan.
- 15) Hijioka Y., Watanabe M., Fukumura Y., Oka K.: Adaptation Futures 2018 (2018)
A study on guidelines for local adaptation planning to develop a standard for local governments and communities- And developing ISO/TS 14092-.
- 16) Hijioka Y.: Adaptation Futures 2018 (2018)
Japan's Experience in Climate Change Adaptation.
- 17) 五味馨, 岡島優人, 藤田壮, 井上剛, 牧誠也, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹, DOU YI, 越智雄輝: 第46回環境システム研究論文発表会, 講演集, 175-183 (2018)
建築物更新を考慮した将来空間分布シナリオ構築手法の開発.
- 18) Watanabe M., Hijioka Y., Ohba M., Estoque R., Ehara T.: Adaptation Futures 2018, (2018)
Development of Assessment Method on Regional Vulnerability regarding to Climate Change and its impacts.
- 19) Hijioka Y.: International Workshop on Climate Change Adaptation Decision Support (2019)
Climate Adaptation Act in Japan and NIES's related activities in 2019.
- 20) 大場真: 平成30年度 NPO 法人福島環境カウンセラー協会総会 (2019)
連携で読み解く地域の未来環境ビジョン: 最近のSDGs・気候変動適応の動き.

- 21) 脇岡靖明: IPCC シンポジウム「気候変動への適応」 (2019)
日本における平成30年夏の酷暑、豪雨。
- 22) Hijioka Y.: 2nd International Climate Change Adaptation Platform Meeting (2019)
Climate Change Adaptation Information Platform Engagement Approaches -Case of Japan-.
- 23) Hijioka Y.: 2nd International Climate Change Adaptation Platform Meeting (2019)
Brief review of the 1st International Climate Change Adaptation Platform Meeting.
- 24) Hijioka Y.: European Climate Change Adaptation conference (ECCA 2019) (2019)
A way to establish National Adaptation Policy -Case of Japan -.
- 25) Togawa T., Oba M., Estoque R., Tsuji T., Gomi K., Yoshioka A., Nakamura S., Morita H.,
Kachi N.: 4th European Climate Adaptation Conference 2019 (ECCA 2019), 2019/5/29, CCB,
Lisbon (2019)
A climate change impact assessment framework based on outcome indicator: values
estimation focusing on the citizens' quality of life.
- 26) Togawa T., Ooba M., Gomi K., Yoshioka A., Nakamura S., Koroda K., Hijioka Y., Estoque
R.: Tsukuba Conference 2019, 2019/10/3, つくば国際会議場 (2019)
Combined impacts of climate change on local societies
- 27) 戸川卓哉, 大場真: 令和元年度 環境研究総合推進費 研究成果発表会, 環境科学会, 2019/9/13,
名古屋大学(2019)
適応策立案支援のための地域環境を考慮した多元的脆弱性評価手法の開発
- 28) Ooba M., Togawa T., Nakamura N., Gomi K., Yoshioka A., Kuroda K., Estoque R., Hijioka
Y.: 4th European Climate Adaptation Conference 2019 (ECCA 2019) (2019)
Visualizing local vulnerability to climate change for local environmental planning and
communication with policymakers and stakeholders
- 29) Ooba M., Togawa T., Nakamura S.: The 14th Conference on Sustainable Development of
Energy, Water and Environment Systems, SDEWES 2019, Abstracts (2019)
Balancing the trade-off between promoting renewable energy and protecting ecosystem
services under climate change.
- 30) Estoque R., Oba M., Togawa T., Hijioka Y., Murayama Y.: American Association of
Geographers Annual Meeting, Abstracts (2019)
Urban Heat Risk Assessment Using Remote Sensing and Socioeconomic Data.
- 31) Manabu WATANABE, Tomoki EHARA, Yasuaki HIJIOKA, Makoto OBA, Takuya TOGAWA, Ronald Canero
ESTOQUE, Katuji NAGAI, Midori KITAHASHI: The fourth European Climate Change Adaptation
conference (2019)
Development of Assessment System on Regional Vulnerability regarding to Climate Change
and its impacts
- 32) Manabu WATANABE, Tomoki EHARA, Yasuaki HIJIOKA, Makoto OBA, Takuya TOGAWA, Ronald Canero
ESTOQUE, Akira Yoshioka, Katuji NAGAI, Midori KITAHASHI, Adaptation Futures 2020 (2020
予定)
Development of Assessment method on Regional Vulnerability regarding to Climate Change
and its impacts

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 一般公開シンポジウム「気候変動適応に関するセミナー」 (主催: 郡山市、共催: 国立環境研究所、

- 2018年11月26日、郡山市役所特別会議室、観客約50名)を開催
- 2) 一般公開シンポジウム「第2回気候変動適応に関するセミナー(農業編)」(主催:郡山市、共催:国立環境研究所、2019年2月19日、郡山市役所特別会議室、観客約50名)を開催
 - 3) 「第1回こおりやま広域圏気候変動適応等推進研究会」(2019年5月24日、郡山市役所、参加者:広域圏自治体環境部門職員を中心に36名)を企画するとともに研究成果に基づくワークショッププログラムを提供
 - 4) 「第2回こおりやま広域圏気候変動適応等推進研究会」(2019年8月7日、郡山市役所、参加者:広域圏自治体環境部門職員を中心に32名)を企画するとともに研究成果に基づくワークショッププログラムを提供
 - 5) 「第3回こおりやま広域圏気候変動適応等推進研究会」(2019年11月29日、環境創造センター、参加者:広域圏自治体環境部門職員を中心に20名)を企画するとともに研究成果に基づくワークショッププログラムを提供
 - 6) 「第4回こおりやま広域圏気候変動適応等推進研究会」(2019年2月14日、環境創造センター、参加者:広域圏自治体環境部門職員を中心に23名)を企画するとともに研究成果に基づくワークショッププログラムを提供
 - 7) 「地域の気候変動リスクや脆弱性に基づく適応策検討ワークショップ」(2020年11月21日、TKP東京駅日本橋カンファレンスセンター、参加者:地域適応センター関係者を中心に21名)を企画するとともに研究成果に基づくワークショッププログラムを提供

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 福島民報(2020年4月25日、11頁、「気候変動にどう対応? 国立環境研究所福島ガイドブック刊行」)

7. 研究者略歴

研究代表者

大場 真

北海道大学大学院地球環境科学研究科単位取得済み退学、博士(地球環境科学)、
現在、国立研究開発法人国立環境研究所/福島支部地域環境創生研究室/室長

研究分担者

1) 榎原 友樹

Reading大学(イギリス)再生可能エネルギー専攻修士課程修了、修士(理学)、現在、株式会社E-konzal(イー・コンザル)/代表取締役

II. 成果の詳細

II-1 革新的手法を用いた多元的脆弱性評価システムの開発

国立研究開発法人国立環境研究所

福島支部 地域環境創生研究室
地域環境回復室

気候変動適応センター

<研究協力者>

国立環境研究所 中村省吾、辻岳史、Ronald C. Estoque

富山県立大学 黒田啓介

大場真、戸川卓哉、五味馨

吉岡明良

肱岡靖明

平成29～令和元年度研究経費（累計額）：62,964千円（研究経費は間接経費を含む）
（平成29年度：21,542千円、平成30年度：20,180千円、令和元年度：21,242千円）

[要旨]

既往の影響評価研究を踏まえ、新たにサブテーマ2が提示する脆弱性指標を参照しながら、適応計画立案のための地域脆弱性・気候リスクに関する多元評価システムを開発する。地域における脆弱性を評価するためのデータベースを構築し、人口、産業構造、土地利用などの将来予測を行うモデルを構築し、2050年にむけての4シナリオを開発した上で、各予測を東北6県にて行った。また生態系、水質に関する影響を行った。気候変動に伴う脆弱性と影響を、市民生活全般へのアウトリーチに注目し、具体的には地域住民の生活の質（QOL）に与えるインパクト評価のフレームワークを開発した。またオントロジー、論理エンジンを用いた脆弱性の地域分析を可視化するGISシステム（Vulpes II）を開発した。これらの知見を、地域の脆弱性を診断し、適応策を立案するため、地域適応センターや自治体の職員と共に参与型の研究を行った。影響連鎖と関係する脆弱性を図式化するインパクトチェーンを作成するワークショップを複数回開催し、開発した脆弱性指標・システムとの比較を行った。本課題は開発したシステムだけでなく、ステークホルダーと連携した参与型手法の開発も行い、地域脆弱性を多元的に理解し、広範なリスクも配慮した適応策を立案に貢献する。

[キーワード]

地域将来推計、地域適応計画、主観的多元評価、脆弱性可視化、参与型手法の開発

1. はじめに

IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）第五次評価報告書では気候変動による影響が今後深刻化し、今世紀末に産業革命以降の気温上昇を2℃程度に安定させたととしても被害増加は避けられず、“適応策”を講じて予想される悪影響に備えることが急務であることが明らかとなった。政府は2015年11月に「気候変動の影響への適応計画」を閣議決定した。今後は、自治体の適応計画策定や、産業界でも事業継続計画の一環として適応計画検討が進むと期待される。

これまで気候変動影響や適応策に関する研究は環境省・環境研究総合推進費S-8やS-14、さらに昨年度から社会実装を念頭においた気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）などにより行われている。多様な分野における気候変動の影響・被害、及び適応のための対策が専門分野別の研究者により検討されているが、影響評価の際にハザードと暴露にのみ焦点をあてており、地域環境特有の脆弱性を考慮したリスク評価が十分に考慮されていないことが課題である。自治体や企業における担当部課レベルでの適応策の立案・実施には、対策の優先順位や実施のタイムラインの提示が必要であり、そのためには地域性を持つ脆弱性を含めた多元的な評価が求められる。既に科学的根拠が示され社会の各層で気候変動への適応策の策定を進める必要があるこの時期に、地域環境の脆弱性に関する多元評価が可能な適応策

支援システムを開発する本研究には大きな意味がある。

2. 研究開発目的

本研究では、既往研究における気候変動影響・リスク評価の結果を集約化、地域別の脆弱性について多角的に評価を行うシステムVulpes (Vulnerability Pluralistic Evaluation System)を開発した。既往の気候変動影響データを整理するとともに、将来における気候変動に対する脆弱性や暴露の変化を理解するため、将来の社会経済、土地利用を定量的に推定した。また脆弱性や気候リスクを多角的に理解するため、アウトカムに着目しながら市民生活への影響を推定した。さらに人工知能を用いた意味論的推論を行い、地域環境における脆弱性、気候リスクを可視化するシステム(Vulpes II)を開発し、評価を試行する。またサブテーマ2で開発されたVulpes IとIIの比較検討も行った。

研究対象として、サブテーマ2では全国都道府県レベルにおける早期出力を目指すのを補完するため、市区町村レベルより小さい地理的スケールとした。この詳細スケールでの解析を、計算資源の制約もあるため、福島県内、東北6県(青森、岩手、秋田、宮城、山形、福島県)で実施した。将来予測年は、気候変動の影響や社会経済が現在と比較して変化が大きい2050年(いわゆる近未来)を基準年とした。

また、連携自治体へのヒアリングを通じて、本サブテーマの各成果とそのパッケージの、利用可能性・適用可能性について調査した。

3. 研究開発方法

3.1 脆弱性評価に向けた将来活動量シナリオ構築手法の開発

将来の地域における気候変動への脆弱性を評価する際には、その前提として気候変動影響を被る主体となる人口や経済活動などの社会経済指標(以下、活動量)が必要となる。また活動量の水準・内容によって脆弱性は異なることが予想される。本研究においては、特に脆弱性に影響を及ぼす要因を特定し、その将来の方向性により異なる将来活動量シナリオを構築し、定量化する手法を開発する。また開発した手法を適用し、対象地域において将来の活動量を推計する。

まず活動量を構成する要素ごとに、脆弱性に影響する要因を整理する。これを既存のモデルを利用して定量化するため、関連するモデル内の変数を挙げる。次にこれにもとづき、既往の研究により開発した地域統合評価モデルである地域スナップショットモデル(地域SSモデル)を利用して、実際の地域において異なるシナリオを設定し、将来の人口、産業別生産額、従業者数等を推計する。最後に、より詳細な分析を行うために必要な課題を特に季節や時間帯に注目して検討する。

2050年における人口を予測するため、社会・経済に関する4つのシナリオを設定した。人口経済が比較的高く成長するシナリオ(高成長シナリオ。人口が $-0.7\%/y$ 、GDPが $1.9\%/y$)とそうでない場合である(低成長シナリオ。人口が $-1.2\%/y$ 、GDPが $1.1\%/y$)。本研究では東北6県における市区町村レベルの推計を行った。

3.2 土地利用シナリオ計画システム

将来において気候変動だけでなく、前述したように社会経済も変化するため、気候変動に対する暴露や脆弱性が変化する。本研究では東北6県における100mメッシュでの土地利用変化を、シナリオごとに推定した。

また成長シナリオとは独立に人口分布が変化する可能性を仮定した。将来において現状のまま人口分布が続く場合と、土地利用集約が進むいわゆるコンパクトシティ、コンパクトタウンへ移行する場合である。具体的には、2050年において現状が維持される場合(低集約度シナリオ)は、2010年における国勢調査において示された人口分布が維持されるとした。一方、土地利用の集約が進む場合(高集約度シナリオ)では国土交通省作成の将来推計人口メッシュにおける2050年人口メッシュを使用した。

従って将来の土地利用は、2成長シナリオと2土地利用変化シナリオの組み合わせで予測される(表3.1.1)。

表 3.1.1 社会経済シナリオと土地利用シナリオの組み合わせ

		社会経済シナリオ	
		低成長 人口：-1.2% GDP：1.1%	高成長 人口：-0.7% GDP：1.9%
土地利用シナリオ	低集約 (国勢調査)	なりゆき	人口維持
	高集約 (国土交通省将来推計人口メッシュ)	限界化	コンパクト成長

将来の人口減少に伴い、現状の水田、その他農用地及び建物用地が、利用されなくなり無管理の状態になる。現在の土地利用図には種類として考慮されていない、耕作放棄水田・農地、無管理建物用地という土地利用の種類を仮定し、追加した。

新たに次のような構成を持つ土地変化モデルを構築した。推定は3つの部分に分かれる、(a) 土地変化量の定量化、(b) 遷移ポテンシャルマップの作成及び (c) 空間分布推定からなる(図3.1.1)。過去の土地利用を参照しながら現在の土地利用を決定した。基盤データとして、国土数値情報「土地利用細分メッシュ」を参照し、過去は1987年、現在は2014年を基準とした。公開されている衛星写真データなども参照に現在の土地利用を決定し、将来を予測した。

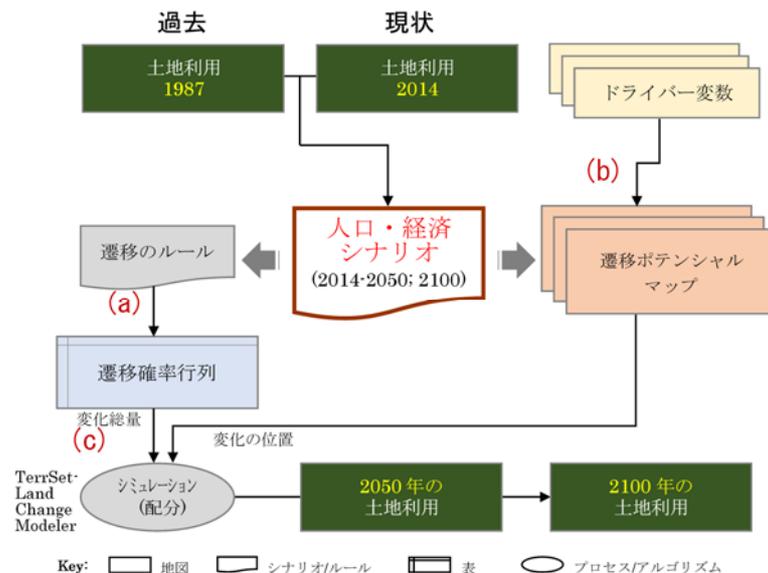


図 3.1.1 土地変化モデリングのフロー

○土地変化量の定量化 (2014-2050 遷移マトリックス)

本モデルでは、i) 水田 (PF: PaddyField) から耕作放棄水田 (AbPF: AbandonedPF)、ii) その他農用地からその他耕作放棄地及びiii) 建物用地から管理されていない建物用地の3つの遷移をシミュレート対象とした。将来の土地面積の変化量 Q は、それぞれ地域SSモデルにおける高成長と低成長の2つ社会経済シナリオに基づき、将来の農業人口総人口の割合から推定した。高成長シナリオ(Hscenario)における水田(PF)の耕作放棄化遷移量 Q は式(1)のように表される。

$$Q_{Hscenario(PF \rightarrow AbPF)} = 1 - (PF_{2050Hscenario} / PF_{2014}) \quad (1)$$

ここで、 $Q_{HH(PF \rightarrow AbPF)}$ は、高成長シナリオにおいて水田耕作放棄地(AbPF)へ遷移可能な水田面積である。2014年と2050年の高成長シナリオにおける、水田面積(PF_{2014} と $PF_{2050Hscenario}$)割合と関係する。この割合は地域SSモデルにおける農業人口の予測結果に基づき推定した。低成長シナリオの場合も同様に計算を行った(表3.1.1)。その他農用地と建物用地の無管理化の割合は、将来の農業人口と総人口の予測を使っ

ている。

○遷移ポテンシャルマップの作成

放棄が発生する地理的な分布を表す、遷移ポテンシャルマップ (TPMs: Transition Potential Maps) を用いて将来の土地利用変化を推定した。土地利用変化の遷移確率は次式より推定した。

$$TP_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} \times w_j \quad (2)$$

ここで、 TP_i はメッシュ*i*における遷移ポテンシャル、 x_{ij} はメッシュ*i*における説明変数*j*の値、 w_j は変数*j*の重み付け、*n*は変数の個数を示す。

将来における水田とその他の耕地の耕作放棄は、標高が高く、急峻な地形、および現在において高い耕作放棄率であるような農業集落において生ずると仮定した。標高、傾斜角、および農業センサスにおける農業集落別耕作放棄率を説明変数とし、同じ重み付けでメッシュごとの遷移確率を推定した。建物用地から空き家への遷移確率は、推計された将来人口分布から推定した。地域SSモデルからの人口推計は市町村レベルであるため、土地利用変化シナリオで使用する人口分布を用い、市区町村別人口データを按分した(ダウンスケール)。

○空間分布の推定

得られたTPMsに従い、TerrSet (Clark Labs)のLandChangeModeler (LCM) を用い土地利用変化予測を行った。LCMの遷移メッシュ配置アルゴリズムは、より高い遷移ポテンシャルTPを持つメッシュを抽出である。アルゴリズム停止は、抽出遷移メッシュ数が、式(1)から得られた変化量*Q*に達した際である。この操作を全市区町村ごとで行い、最終的に統合した。

3.3 機械学習モデルによる地域の生物多様性指標の将来分布予測のためのフレーム構築と予測データの適応

気候変動は生物の分布の変化をもたらし、生物多様性・生態系サービスに影響を及ぼすと考えられている。一方、将来の土地利用の変化も里地里山環境の変化をもたらし、身近な生物の分布に影響することが予想される。そこで、本節では生物多様性・生態系サービスの視点から地域の脆弱性評価・予測に資するため、気温、降水量、土地利用の変化が生物の潜在的分布へ及ぼす影響を予測・地図化する機械学習モデルのフレームを構築するとともに、試行的に気象及び土地利用の将来予測データを投入し、将来の変化の影響を受けやすい状況を検討することにした。

対象地域は、原発事故に伴う避難指示とその解除により、土地利用の大きな変化が見込まれる福島県とした。利用可能なデータを検討した結果、里地里山の鳥類群集を生物多様性の指標として潜在分布を予測する対象とした。機械学習用の鳥類の分布データは国立環境研究所が2014年に録音装置を用いて取得したもの(Fukasawa et al. 2017)を用いた。本データは中通り、浜通りの52地点における調査によるものであり、解析には、出現地点数が10以上かつ41地点以下の種の在-不在データを用いた(出現地点が非公開となっている絶滅危惧種及び出現地点数が10地点未満又は42地点以上の種は情報量が不足しているとみなして解析対象外とした)。また、潜在分布に影響を及ぼすと考えられる説明変数(特徴量)は、気温、降水量、土地利用(水田、その他の農用地、森林、建物用地(道路含む)、荒地面積)とした。気温、降水量のデータには気候変動適応情報プラットフォーム (<http://www.adaptation-platform.nies.go.jp/>)において整備された三次メッシュレベルの気温、降水量の現況データを用いた。また土地利用に関しては、国土数値情報から2014年の三次メッシュレベルのデータを取得した。

各鳥類種の分布予測モデルは、ランダムフォレスト (Breiman 2001) と呼ばれる機械学習の手法を用いて構築した。予測力が高く、分布と説明変数の非線形な関係にも対応できることに加え、他の機械学習の手法に比べて説明変数と予測値の関係がわかりやすく記述されるため、重要な説明変数を特定しやすく、今後のモデルの改良にも適した手法であると考えられたためである。モデリングはR3.5.0 (R Core Team 2018) 上で、randomForest関数によって実行した。発生させた分類樹木数*n*treeは500、ノード毎の選択特徴量*m*tryは2とした。再現性のある結果を得るため、学習に際して発生させる擬似乱数のシードは1に固定した。

さらに機械学習を用いて得られた予測モデルにEstoque et al. (2019) による4つのシナリオ (表3.1.1)

に基づく2050年の土地利用予測データと、RCP2.6シナリオに基づく2031-2050年の平均気温・降水量の予測値を入力し、鳥類の種数が4つのシナリオでどのように異なるか検討した。放棄された水田、放棄されたその他の農地、放棄された建物用地はいずれも荒地になるとみなした。気温・降水量の予測値は気候変動適応情報プラットフォームが整備した、気候モデルMIROCに基づく値を用いた。RCP2.6シナリオによる予測値を用いたのは、緩和策が功を奏した場合でも影響が大きい状況を検討することで特に脆弱な将来シナリオに関する知見が得られると考えたためである。

引用文献

- Breiman L. (2001) Random Forests. Machine Learning 45(1), 5-32.
- Fukasawa K., Mishima Y., Yoshioka A., Kumada N., Totsu K., Acoustic monitoring data of avian species inside and outside the evacuation zone of the Fukushima Daiichi power plant accident. Ecological Research 32, 769.
- R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Estoque R., Gomi K., Togawa T., Oba M., Hijioka Y., Akiyama C., Nakamura S., Yoshioka A., Kuroda K. (2019) Scenario-based land abandonment projections: method, application and implications. Science of the Total Environment 692:903-916

3.4 地域の脆弱性評価のための環境水質予測ツールの開発

将来の気候変動が水環境・水資源分野におよぼす様々な影響が懸念されており、地域の脆弱性評価・予測を元にした国民生活や社会経済活動が安全・安心を確保できる適応策の策定が求められる。本テーマでは水環境・水資源分野における地域の脆弱性評価に資するため、将来の河川等の環境水質を広域に予測するツールの開発を目指す。ここでは、福島県をケーススタディとし、流域データや水質データ等を整備し、水質モデルを開発した。

○将来の環境水質予測のための基礎データ整備

対象流域は平成21年の国土数値情報流域メッシュデータに含まれるメッシュを基礎とし、流域・河川名や流域界の誤りを正して使用したのち、採水地点（水質汚濁防止法の規程による水質測定計画に基づき実施されている国と市が実施した水質調査（以後、「環境水質調査」とする）の地点）ごとに流域を分割し、さらに各地点の上流側の流域を統合した結果、193の流域データを得た。これらの流域に気候や人口のデータを付与した（図3.1.2）。また、環境水質調査の測定結果を示した例を図3.1.3に示す。

○環境水質予測モデルの作成

2006年から2015年までの水質データと流域人口密度の平均値を元にT-N及びT-Pに関する回帰式を作成し、人口シナリオ別に2050年の水質を予測した。

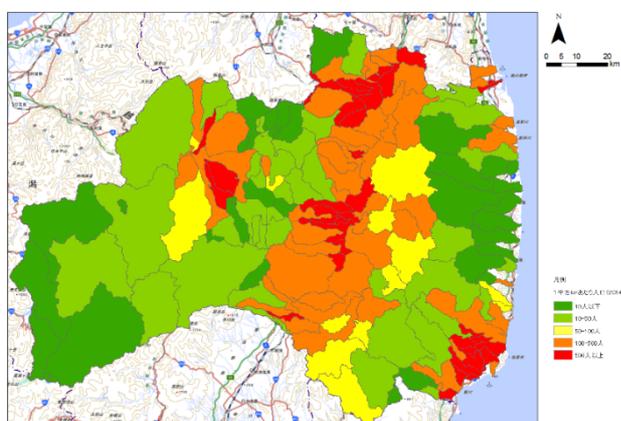


図 3.1.2 福島県流域別人口密度
(1平方kmあたり人口)

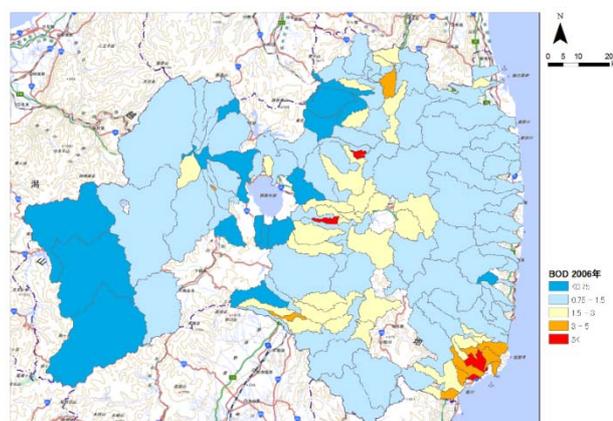


図 3.1.3 流域別の環境水質調査結果
(BOD、2006年)

3.5 気候変動影響の統合評価フレームワークの開発

政策評価の統合指標として、これまでGDPのような経済尺度を用いることが一般的であり、気候変動の影響評価や適応策評価においても被害額やその軽減額等が採用されてきた。しかしながら、近年、各国で被験者に対して、直接、自分自身の幸福感を尋ねる「主観的幸福感」に関する調査が進められる中で、経済成長が必ずしも幸福度の上昇につながらないという「幸福のパラドクス」と呼ばれる現象が観察されるなど、経済尺度による政策評価の限界が指摘され、生活の質(QOL)、幸福度(Happiness, Well-being)、持続可能性(Sustainability)等の概念が注目されている。そこで、本研究では生活の質(QOL)に着目した政策評価フレームワークを開発する。さらに、気候変動による外力(降雨強度増加・気温上昇・海面上昇等)が都市・地域システムに与える全体プロセスを整理し、影響を受ける指標を生活の質(QOL)の観点から統合的に評価するフレームワークを開発する。これまでの被害額等に基づいた適応策の統合評価手法と異なり、自治体単位で居住者の生活の質(QOL)への影響を評価することで、気候変動影響を個人属性や居住地域との関連を考慮した上で明らかにすることが可能となる。

○統合指標に関するレビューとQOL構成要素指標の設定

国連、OECD、EU等の国際機関を中心として、GDPに代わる客観的な統合評価指標の研究開発が行われている。本研究では、それらの内、代表的な指標を取り上げ計測範囲や集計方法および影響関係等について調査を行う。特に統合評価指標の内、QOLに着目し関連論文に関するレビュー調査を実施する。2000年から2017年にかけて発表された関連刊行物の動向を明らかにするために、計量書誌学分析を実施した。

1) 論文発表の時間的傾向、2) 研究分野、3) キーワード・ネットワーク、という3つの側面に焦点を置いた。ここでは、社会環境科学論文の大規模データベースであるウェブ・オブ・サイエンス(Web of Science, WoS)に基づいて分析を行った。なお、この計量書誌学検索は2018年1月4日に実施した。

さらに、気候変動による外力(降雨強度増加・気温上昇・海面上昇等)が都市・地域システムに与える全体プロセスを整理し、レビューの結果得られたQOL関連指標との関係性を分析することで、気候変動と関連性の強いCC-QOL(Climate Change related Quality of Life: CC-QOL)構成要素指標を設定する。

○市民価値観推計のためのアンケート調査

以上で設定したCC-QOL構成要素に関する個人属性に応じた重みを推定するため、アンケート調査を実施する。重みの推定には、CVMやコンジョイント分析、AHPなど複数の方法が想定されるが、1) 貨幣換算値など単位を有する重みの算出、2) トレードオフや制約条件の設定(過大評価の抑制)などの条件から、本研究では一対比較法によるコンジョイント分析を採用する。一対比較型のコンジョイント分析とは、複数の指標に対して異なる水準を設定した2つの組み合わせから望ましいものを選択する設問を回答者に繰り返し問うものである。重みパラメータは、得られた選択結果を用いて、式(1)、(2)に示す二項ロジットモデルを構築したうえで、最尤推定法により推定する。

$$P^p(i) = \exp(\beta_k^p \cdot x_{k,i}) / \sum_j \exp(\beta_k^p \cdot x_{k,j}) \quad (1)$$

$$\beta_k^p = \beta_k^0 \cdot \sum_n \beta_k^{p,n} \quad (2)$$

ここで、 $P^p(i)$ は属性 p が選択肢 i を選択する確率、 β_k^p は評価指標 k の重みパラメータ、 $x_{k,i}$ は選択肢 i の評価指標 k の値、 n はそれぞれの個人を形成する属性(性、年代、所得など)であり、 $\beta_k^{p,n}$ は様々な個人属性の組合せとして求めることとしている。

なお、各指標のパラメータと、換算単位したい指標を合わせてパラメータ推定することで、その比から換算値を得ることができる。本研究では、家賃基準とした貨幣換算値を得るため、特定した15の指標に加え家賃を選択問題に加え、アンケート調査を実施する。

アンケート調査は、調査会社に登録されているモニターに対してWEBを通じて2020年2月に実施した。プロフィールの組み合わせは各分類の3指標+家賃の4条件型のプロフィールとした。また、各指標で設

ける水準は、すべて2水準とした。これらの条件をもとに、直交計画法により設問数を検討した結果、各組み合わせで8問ずつとなり。回答者1人あたり計40問の回答を得ている。

○統合評価システムの開発と適用

次に、住民の価値観推計結果を応用して気候変動に関連性の強いQOL統合指標（Climate Change rerated Quality of Life：CC-QOL）を開発する。ここでは、CC-QOLは各要素指標の重み付き和として以下の通り定式化した。

$$CC_QOL_i^p = \sum_k w_k^p \cdot (x_k^i - \bar{x}_k) \quad (3)$$

ここで、 $CC_QOL_i^p$ は地域*i*における個人（グループ）*p*のCC-QOL値を示す。また、 w_k^p は個人*p*におけるCC-QOLを構成する個々の指標*k*に対する重みを示す。本研究では家賃を換算基準とした貨幣換算値を用いる。そして x_k^i は地域*i*における指標*k*の値を示し、 \bar{x}_k は指標*k*の平均値を示す。

これにより、各地域のCC-QOL値は平均からの多寡として定義することができる。本研究では、とりわけ各個人を取り巻く生活環境に着目し、各指標をそれぞれの価値観で重みづけし統合することで主観的要素を包含しており、先に整理したQOL構成要素指標の特徴及び分類を包括的に取り入れた構造をとっている。気候変動の影響には、感染症や熱中症など、個人の身体的健康に直接的に影響のある要素も含まれているが、これらは個人の内的なものではなく、外的リスクとしてとらえることができるため、ここでは身体的健康ではなく環境要素の一部として考えている。なお、ここで w_k^p は、アマルティア・センのケイパビリティアプローチにおける「機能」とそれを求める「ニーズ」とが統合された概念ととることができる。すなわち、ある要素（指標）から、個人が生活の質に資する機能を引き出せないときには重みは小さくなり、同時にその指標が生活の質にとって不必要な場合にも重みは小さくなる。それぞれの個人がその要素から生活の質向上に資する機能を引き出すことができ、かつニーズが満たされるときに重みが高くなると捉えることができる。

本研究では、開発した統合評価システムを全国市区町村単位での分析に適用するとともに、福島県を対象とした500mメッシュ単位での詳細分析を実施する。

3.6 革新的手法を用いた統合的脆弱性評価システム

地域脆弱性を評価する、多元的な要素を考慮した評価ツール(Vulnerability Pluralistic Evaluation System: Vulpes II)開発を行い、試験的運用を行った。本課題は自然から社会まで幅広いデータとモデルを扱うことになり、気候や土地利用、人口等のデータを頻繁に修正や更新などを行う必要がある。またこの評価ツールは研究者ではない政策立案担当者などをユーザーとして想定しており、各種操作についてユーザーが煩うことなく利用可能である必要がある。これらの要件からVulpes IIは将来の気候変動に関するシナリオだけでなく、データやモデルが更新されることを前提とした設計を行った。

Vulpes IIの特徴はこれに留まらず、取り扱う気候リスクや一般的な概念(例えば、土地利用カテゴリー)など概念を、ソフトウェア的に変更することができる事が挙げられる。例えば、既存の土地利用カテゴリーの元で将来予測を検討した結果、現行のカテゴリーへ管理放棄に伴う新しい土地利用区分を導入することが必要とされる場合がある。現在、オンラインで様々な地理情報をwebGISによって提供することが主流化している。しかし、このような静的なシステムは、データの差し替えは容易であるが、データ間の依存関係を変更することは難しい。例えば、複数データに渡るカテゴリー内容の変更は、大幅なシステム変更を必要とする(従ってwebGISは「見せる」だけの場合が多いとも指摘できる)。

情報科学におけるオントロジーとは、コンピューターが概念を使用して、推論を行う際の技術として開発されてきた。Gruber(1993)は「Formal, explicit specification of a shared conceptualization」と定義している。溝口・池田(1997)は多様な知識源に潜在する知識をコンピューターによって操作可能にするための、基礎学問がオントロジー工学と解説している。

環境分野におけるオントロジーを利用した先行研究では言語分析が行われているが(松井, 2010; 熊澤・吉崎, 2018)、本研究は実データによる地理的な評価結果まで実際に表示可能であるという新規性を

目標とした。一方、オントロジーを用いた地理情報システム開発はこれまでいくつかの実例がある (Fonseca et al., 2002; 芝崎, 2005)。k.LAB (スペイン、バスク気候変動センター、Basque Center of Climate Change, bc3) は、オントロジーのシステム・データベース構築のため自然言語に近い専用言語 (KIM) を提供しているところと、概念 (例えば、土地利用種別や人口密度など) から実データへの接地 (grounding) するための環境が提供されている点が特徴である。後者は、ユーザーからの高次概念 (例えば特定地域における年間土砂流出量) の指示を、適切な知識データベース、プログラムが用意されていれば、オントロジーエンジンが自動的にデータとモデルをダウンロードし、計算し、結果をGISデータとして表示する。

以上、本課題の提案と初動時は地域脆弱性を確認し、地域気候変動適応策を立案するシステムとして、オントロジーとGISを用いたシステムを開発することが最も適した方法であると考えていた。しかしこのようなシステムを開発する途上、後述するような技術的な問題だけでなく、オントロジーで動作する知識システムを行政計画などの公共的な決定プロセスに応用するためには、当初想定していなかった問題への配慮の必要を認めた。

人工知能に関する小史をひもとくと、1970-80年代に論理プログラミングと呼ばれる分野に一つの断続があった。日本において「第五世代コンピュータ」と呼ばれる論理プログラミングを中核とした大規模な科学技術プロジェクトがあった。しかし、この概念と成果は広く普及することなく、応用範囲も狭かった。この原因として競合技術あるいはマーケットなどの理由が示されるが、論理プログラミング自体への疑念が生じたことが、むしろ原因ではないかと考えられる。論理的なエンジンを主役とする人工知能におけるフレーム問題と呼ばれる弱点を、最初に指摘したのは1969年、ジョン・マッカーシーとパトリック・ヘイズであり、その後ダニエル・デネットの指摘によってより広い興味を集めた。この問題は様々な概念を推論する際に、その前提となっている条件 (文脈) を考慮すると、無限に推論が続くというものである (解が有限時間に得られない)。この問題は本質的には解決されておらず、また論理プログラミングの一定の限界を示した。そのため、フレーム問題の以降において論理プログラミングは人工知能の唯一の実現方法ではなくなった。フレーム問題への現実的かつミニマムな対処方法は、「閉世界仮説」という「知っていることだけが世界の全てである」というフレームを固定して与えることが通例である。

本課題が本質的に取り組む問題は、行政などの担当者が地域における気候変動適応策を、地域の様々なセクター (産業、団体、市民) に認められる適応策立案を支援することである。しかし、「結果及び考察」にて後述するように研究者で想定するフレームと、地域の課題に取り組む担当者におけるフレームが著しく異なっている場合があることが判明した。Vulpes IIにおいて、与えたフレームに縛られることで、地域の多様な課題が解決できないケースが想定された。従って、Vulpes IIのフレームは、研究者側がア priori に設定するばかりではなく (例えば脆弱性や適応策のデータベースはあるフレーム=先入観の元で開発される)、適応策に関わるユーザーが自由に決められ、かつ後日自由に変更できる可変性が必要である。

そこで本研究では、この問題の解決方法として、サブテーマ2で研究されたインパクトチェーンをより柔軟な形で取り込むこととした。つまりサブテーマ2で全国版として用意されているインパクトチェーンだけでなく、広く参加者を募って共同作業をすることによって「集合知」を抽出するワークショップ形式によるインパクトチェーンを取り込むことが可能なように開発を行った。地域の参加者が示す気候変動影響やそれに対応する脆弱性 (感受性、適応能力) は、「地域知」を反映しており、地域に寄り添いスムーズに導入可能な適応策を立案できる。これらはトップダウンで示される適応策と共存や協調可能であるばかりか、相補的であり、全体としてより網羅的であることが期待できる。

引用文献

- ・Fonseca, F., Egenhofer, M., Agouris, P., Câmara, G. (2002) Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems. *Transactions in GIS* 6: 231-257
- ・Gruber, TR. (1993) A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition* 5: 199-220.
- ・熊澤輝一, 古崎晃司 (2018) 環境・サステナビリティ領域におけるドメイン知識間の因果論理構築

支援ツールの開発. 人工知能学会論文誌 33:E-SGAI04_1-13

- ・松井孝典, 熊澤輝一, 加藤悟, 織田朝美, 原田要之助, 盛岡通 (2010) オントロジー技術を用いた組織における環境リスクマネジメントシステム構築のための知識モデル開発. 電子情報通信学会技術研究報告. AI, 人工知能と知識処理 109: 43-48.
- ・溝口理一郎, 池田満 (1997) オントロジー工学序説. 人工知能学会誌 12:559-569.
- ・柴崎亮介 (2005) 環境情報とオントロジー. 環境情報科学 3: 3-8.

3.7 地域気候変動適応への社会実装研究

気候変動適応法が2018年12月に施行されたことにより, 気候変動適応策を積極的に推進する体制が整備された。またこの法律では、地域における適応に焦点が当てられ、都道府県から基礎自治体レベルでの地域適応策の策定と実施が努力目標として決められている。国立環境研究所は適応法によって国内適応に関する中核機関として位置づけられ, 気候変動等に関する情報の収集、提供等を行うことが定められた。国内の主な研究所などと連携し国立環境研究所は環境省と共同で「気候変動適応情報プラットフォーム」(通称A-PLAT)を公開している。適応法では地域適応策の中核として地域気候変動適応センターの設立を努力目標として定めている。このセンターでは、地域における科学的気候変動リスクとそれに対する適応策について調査研究し情報提供をすることが求められている。

本研究はこの動きと連動して、国立環境研究所の担当部署である気候変動適応センターと連携し、気候変動に対する脆弱性やリスクに関する情報提供に留まらない、地方適応計画の立案のための方法論の検討を研究として行った。具体的な対象としては(I)地方気候変動適応センター職員、(II)地方自治体環境政策関連職員を中心としたワークショップの開催を中心とした情報提供、(III)地域適応策樹立を目指す自治体への研究成果等の提供を行った。

ドイツ国際協力公社(GIZ)は脆弱性や気候リスクに関する一連のツールをガイドブックとして提供している。最新版は“Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation: A guidebook for planners and practitioners”(2018)である。このガイドブックは、サブテーマ2でも検討を行い一部研究対象として取り込んだが、サブテーマ1では更に限定分野・詳細地域レベルでの検討を行った。このガイドブックは、本研究において広範なレビューワークのもとに脆弱性の定義の依拠とした、IPCC AR5の脆弱性、気候リスク概念定義を取り込んだ最新版である。このガイドブックは、主に生態系を活用した適応策(Ecosystem-based Adaptation)を中心としており、より一般的な適応策策定の方法論はそれ以前の“The vulnerability sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments”, “Risk supplement to the vulnerability sourcebook”に記載されている。しかしこれらの2文献はAR5のリスク定義を採用していないため、本研究では2018年版のガイドブック(以後、AR5準拠ガイドブック)を検討し、必要に応じてそれ以前のガイドを参照した(AR5準拠ガイドブック自体も同様の構成となっている)。

研究チームでは、AR5準拠ガイドブックの広汎な分析を行い、主要な執筆者の招へいし、ガイドブックの不明点や実際の使用方法などを問い合わせた(後述)。また地方適応策の立案に対して、後述する環境省『マニュアル』と補完的なところがあるので、翻訳作業を行った。

AR5準拠ガイドブックは前後に解説を挟み、9モジュールからなる「ガイドライン」が記載されている。

- モジュール1 リスクアセスメントの準備
- モジュール2 インパクトチェーンの開発
- モジュール3 リスク要因に対する指標の識別と選択
- モジュール4-7 データの取得と指標の推定と統合化
- モジュール8 リスクアセスメント結果の表示と解釈
- モジュール9 適応策の識別

このガイドラインでは一連のアセスメントをステークホルダーや管理者、専門家、政策決定者などを集め議論するように示している。この実施は本研究の範囲内を超えるため、本研究成果で示された脆弱

性、気候リスクなどを参考にしながら、インパクトチェーンを開発し、それに必要な適応策を話し合うという形式を取った。

ワークショップ形式でのインパクトチェーンの開発方法は、AR5準拠ガイドブックを参考に、サブテーマ2と共同で開発した。

人数：参加者10名程度まで。ファシリテーターをつける

形式：一同が共同で作業できる大きさのテーブルに、模造紙を用意。付箋で項目を書く。

プロセス：

- i. **(情報提供)** 座学形式で作業の流れを示す(20分程度)。必要であれば気候変動に関係した情報提供も行う。
- ii. **(自己紹介)** 参加者が気候変動に対する自己背景や関心などの自己紹介を行う(10分程度)。必要であればアイスブレイクを行う。
- iii. **(外力と気候リスク)** 外力と気候リスクについてはファシリテーターが事前に分析した上で、参加者に示す。
- iv. **(影響)** 外力が影響する要素を1名につき5つ程度まで考えて1つつ付箋に記載する(5分程度)。順に模造紙の決められたエリアに提示する。可能な範囲で、外力の影響によりから直接発生しそうな付箋を先に発表し、上方から貼り付ける。別の参加者が同じ・似たような項目がある場合は、まとめてしまう。また思いついた項目があればその場で付箋に書いて提示する。
- v. **(影響連鎖)** ファシリテーターが参加者と相談をしながら、外力から影響、影響間の矢印を書く。項目を複数にまとめ、分かりやすく言い換えてもよい。また気候外力以外にも重要な外力があれば追加する(例：生態系の「開発」「乱獲」等)。ivとあわせて40分程度で実施する。
- vi. **(脆弱性)** 影響要素に対する脆弱性(感受性、適応能力)について、ivと同様に参加者が列挙してゆく。ファシリテーターが確認しながら脆弱性から影響へ矢印を書く(40分程度)。
- vii. **(暴露、整理)** 暴露要素を全体で討論しながら列挙し、模造紙に付箋を貼り付ける。リスクへ矢印を作成する。
- viii. **(完成と発展)** 全体を見直し、必要な加筆訂正を行いインパクトチェーンを完成させる。ワークショップ前後の流れを配慮して、脆弱性の優先順位や該当する適応策について検討などをする。

このフレームワークを用い、「地域の気候変動リスクや脆弱性に基づく適応策検討ワークショップ」と題してワークショップを開催した(2019年11月)。開催にあたってはAR5準拠ガイドブックの執筆者の一人である、Marc Zebisch氏(イタリアEurac Research・地球観測部門長)を招聘し、本課題の遂行状況の説明や、ワークショップ運営、気候リスク評価の分析について助言をいただいた。

また自治体職員向けのワークショップについては、地方気候変動適応計画の策定を念頭に、環境省から示されている『地域気候変動適応計画策定マニュアル(手順編)』の検討を行い、参与型で情報提供を行いながら適応策立案を支援する手法を開発した。環境省マニュアルは8つのステップに分割され、情報整理シートと呼ばれる表を完成させることで、地方気候変動適応計画に必要な要素をそろえる。

それぞれのステップはステージ1-3に分かれており、後半のステージに進むにつれ、地方に特有の自然社会条件に応じた適応を、より深く検討するように設計されている。情報整理シートは分野ごと項目ごとに整理する。マニュアルのステップ2から4において影響評価を実施し、マニュアルに記載された表や指針を参考にして影響評価データを収集し、専門家の意見を集める。本研究では、限定された分野ではあるが、インパクトチェーンを作成することで、適応策の立案を効果的に行えるように意図した。

自治体向けワークショップについては、福島県における「こおりやま広域連携中枢都市圏」(以下、こおりやま広域圏)と連携して「こおりやま広域圏気候変動等推進適応研究会」を開催した(2019年度全4回)。

2019年度に福島県棚倉町より、環境基本計画を策定し、その中に地方気候変動適応策も組み込むため、研究成果等について提供の協力依頼が本課題研究チームにあった。地方適応計画やインパクトチェーンについて開発中であったため、各時点で可能な情報の提供と支援を行った。

引用文献

GIZ, EURAC and UNU-EHS (2018) Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation – A guidebook for planners and practitioners. GIZ, Bonn.

環境省 (2019.4.10 更新) 地域気候変動適応計画策定マニュアル(手順編). 気候変動への適応
<<http://www.env.go.jp/earth/tekiou.html>>

4. 結果及び考察

4.1 脆弱性評価に向けた将来活動量シナリオ構築手法の開発

活動量の推計に関連する、脆弱性に影響する要素を整理した結果を表4.1.1に示す。

表 4.1.1 脆弱性に影響する活動量関係の要素と対応するモデル変数

分野	要素	脆弱性との関係	モデル変数等
人口動態	人口規模	人口規模はそもその暴露人口を左右する。	出生率、死亡率、 移動率、世帯規模
	高齢化率	高齢者は熱中症リスクが高いことが知られている。	
	世帯構成	単身世帯ではより健康関連のリスクが高くなる恐れがある。	
経済・産業	経済成長水準	経済成長の高低により適応の可能性を含む様々な側面に影響する。	実質経済成長率
	産業構造	屋外労働の多い産業の多寡（農林漁業、建設業等）、直接に影響を受ける産業（農業等）	産業別付加価値割合、固定資本形成、労働生産性
農業	機械化・自動化・工業化	野菜工場は気候変動影響を受けづらい。また従業者の健康リスクをコントロールしやすい。	農地面積・野菜工場の割合
	作物種・品種	作物種・品種により影響が異なる。（適応を意図しない作物種・品種の転換は活動量シナリオとして考慮する）	作付面積 (作物種別・品種別)
土地利用・空間分布	ハイリスク地域の人口・従業者数	土砂災害危険箇所、土砂災害警戒区域、浸水想定区域等に常住・従業する人口が多ければよりリスクが高まる。	メッシュ別人口密度
	都市緑被率	ヒートアイランド現象等を通じて熱中症リスクに関連する。	土地利用割合

人口に関連する属性としては特に熱中症リスクの高い年齢階層の割合が重要と考えられた。産業については直接に影響を受ける農業の生産水準があげられる。また人口と産業の双方が関連するものとして、主に屋外での労働に従事する産業・職業の従業者数が重要となる。これら活動量の空間分布については特に土砂災害等の危険度の高い地域で常住・従業する人口が重要である。

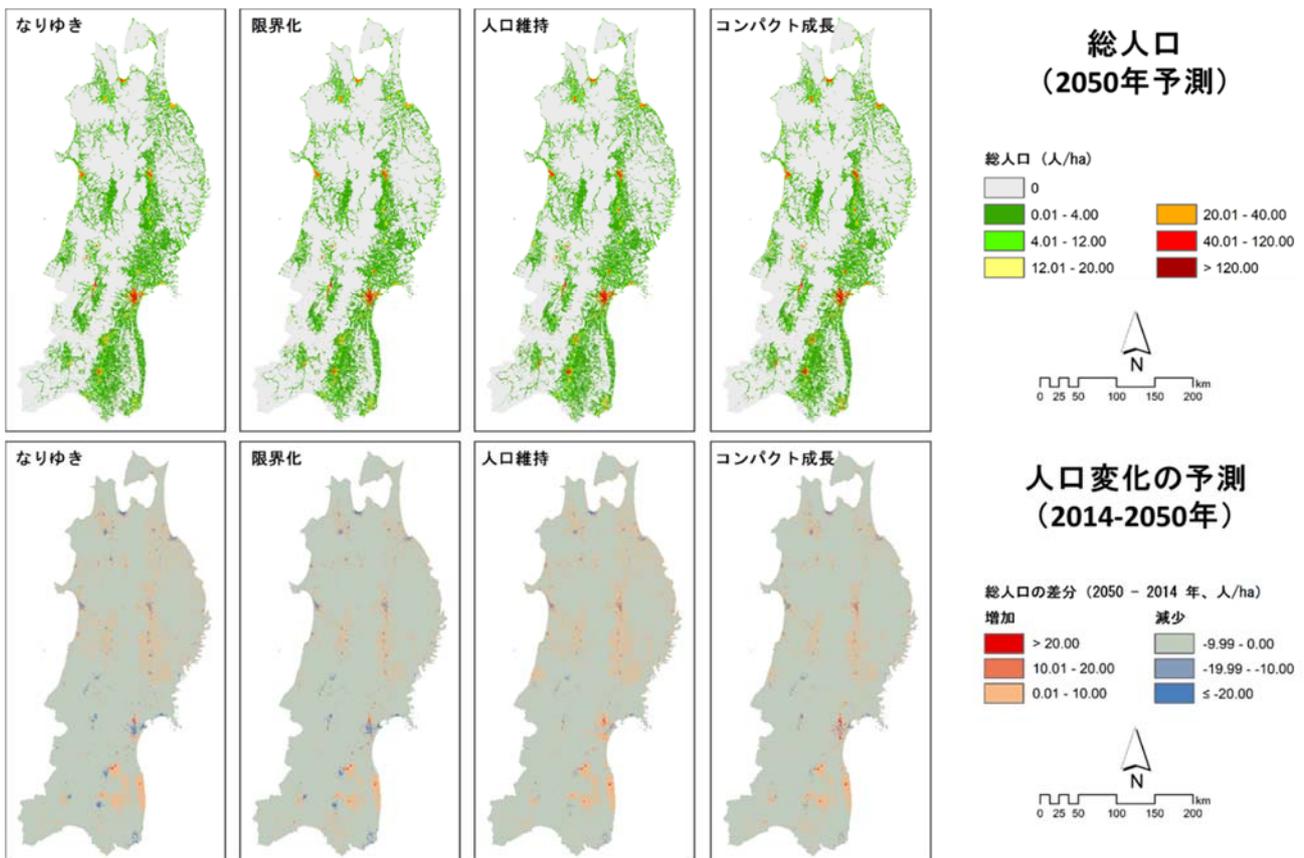


図4.1.1 東北6県におけるシナリオごと2050年人口分布推計と2014年との比較

これらの要素の違いを考慮し、地域SSモデルを適用して、福島県において市町村別の人口、産業別生産額、産業別従業者数を推計した(図4.1.1)。地域SSモデルにおいては、低成長、高成長シナリオを計算しているが、図4.1.1では土地利用モデルにもとづいて人口の割り付けを行っているため、4通り(表3.1.1)の計算結果となる。

今後の課題として、より正確にリスク人口を推計し脆弱性を評価するには人口推計の概念を拡大する必要があると考えられた。具体的には、季節や時間帯による屋内外の人口を分析する必要があり、そのためには、国勢調査等の統計から得られる夜間人口・昼間人口を基礎にしつつ、これと交流人口を合わせ、かつ、時間帯や特定時期(年末年始や定例のイベント時)の人口を把握する必要がある(図4.1.2)。交流人口はさらに観光交流や親族、産業、他地域居住等に分類することができた。観光や交通関連の統計に加え、携帯電話位置情報による空間統計を活用することでこの現状を把握し、地域SSモデルを拡張してその将来推計を行えるようにする必要が示された。

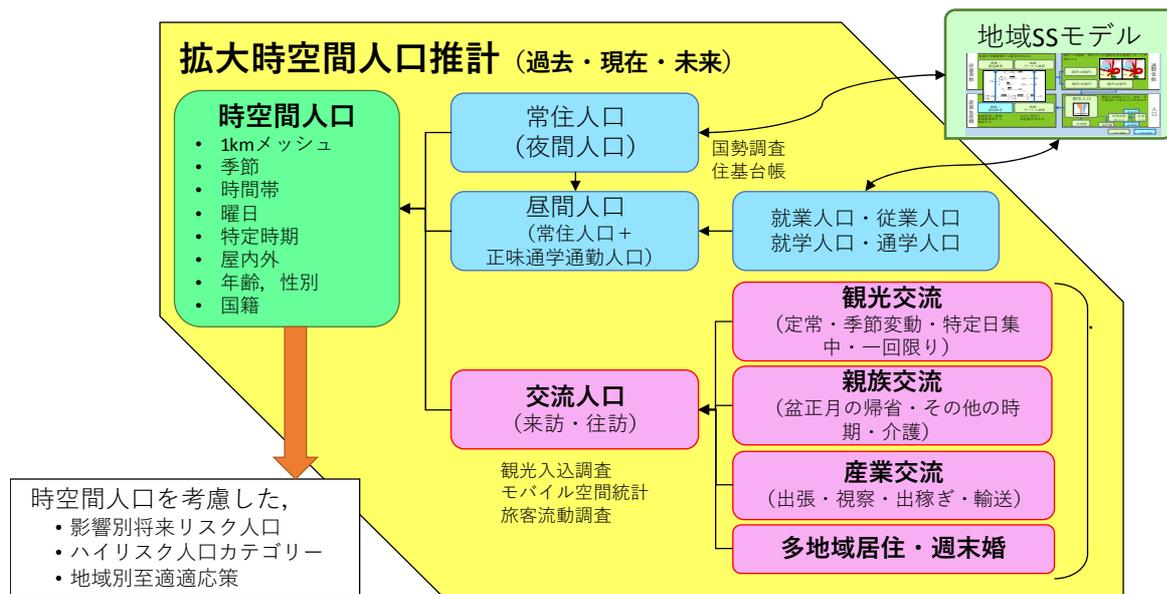


図4.1.2 拡大時空間人口推計の概念

4.2 土地利用シナリオ計画システム

2050年における表3.1.1に示した4シナリオにおける土地利用変化を推定した(図4.1.3)。福島県を例に無管理化の予測の定量的に分析した(図4.1.4)。2014年における、水田とその他農用地は128,828、74,916 haであった。これらの土地利用は、それぞれ福島県全域に対してそれぞれ9%、5%に相当する。2050年における高成長シナリオでは、水田の約26% (33,232ha)、その他農用地は30% (22,771ha) が放棄地に変化する。低成長シナリオではそれぞれ23% (30,156 ha)、28% (21,327 ha) が放棄地に変化する。高成長シナリオで耕作放棄が大きいのは、産業のシフトが生じ、一次産業の就労者人口が低下するためである。建物用地については面積で福島県全域のおよそ5%(70,373ha、2014年)であるが、高成長シナリオではそのうち約26%、低成長シナリオでは36%が無管理となることが予測された。これは将来人口の予測と直結している。本結果の詳細はEstoque et al. (2019)にて詳細に報告した。

本結果は、人口減少する局面での土地利用の変化という世界的にもあまり行われていない研究であり、推定の上で無管理地という土地利用区分を作るなど、土地利用変化研究における新たな視点が必要であった。人口減少に伴い、積極的な土地利用がされなくなる土地が顕在化し、いわゆる放棄地や空き家として社会問題化している。また本課題では森林は、唯一の土地利用種類によって取り扱ったが、スギやヒノキなどの人工林が管理されなくなる問題も、上述の問題とともに社会問題化している。気候変動の影響は、このような無管理地に大きく影響することが予測され、気候変動脆弱性・気候リスクを考える上で今後更なる考察が必要となる問題であると指摘できる。

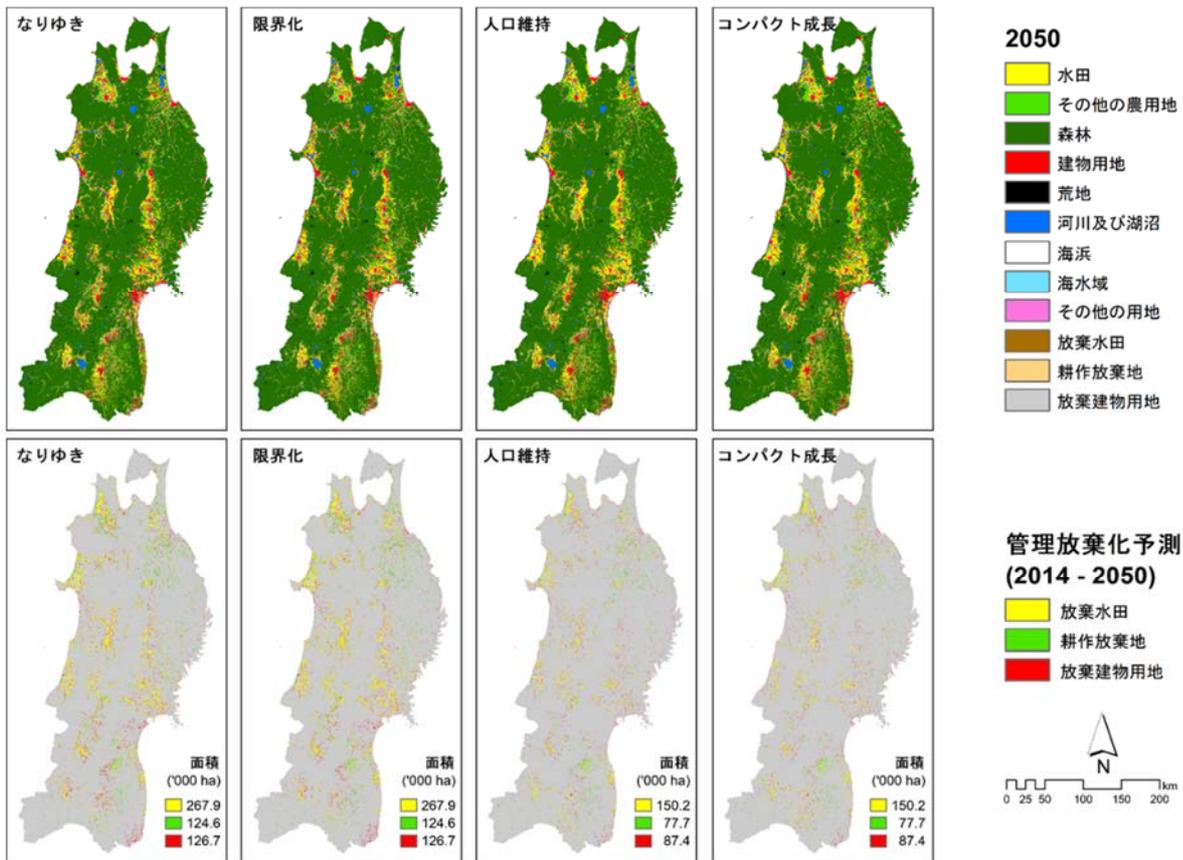


図4.1.3 東北6県におけるシナリオごと2050年土地利用と2014年との比較

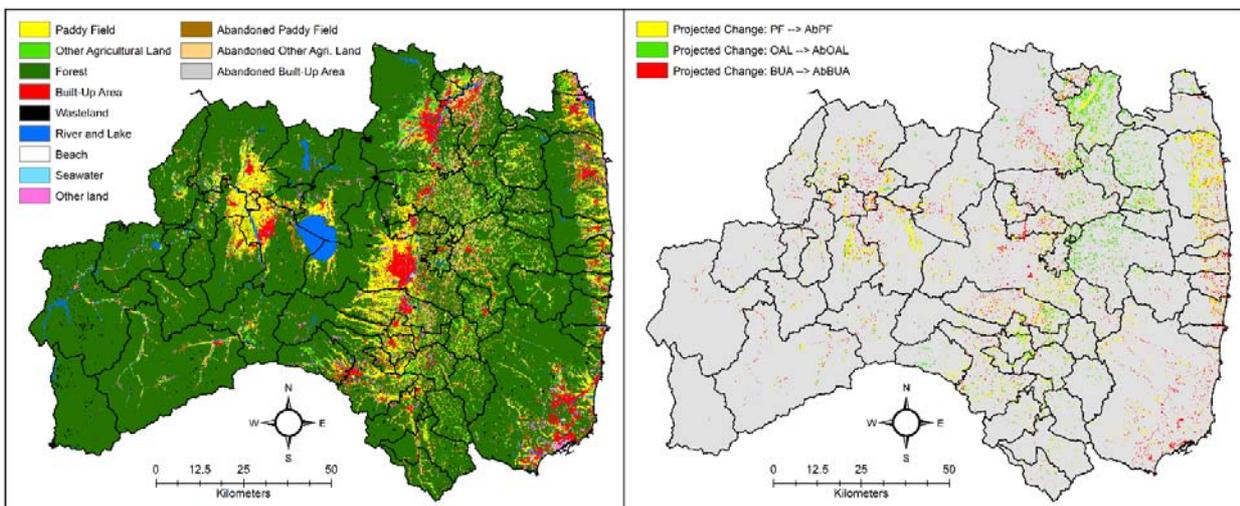


図4.1.4 福島県におけるコンパクト成長シナリオの2050年土地利用と2014年との比較
(凡例は図4.1.3と同じ)

4.3 機械学習モデルによる地域の生物多様性指標の将来分布予測のための雛形構築

出現地点数が10以上かつ41地点以下の種として、16種の鳥類（アオゲラ、ハクセキレイ、ヒバリ、ホオジロ、カッコウ、キジバト、キセキレイ、コゲラ、コジュケイ、メジロ、モズ、ムクドリ、オオヨシキリ、セグロセキレイ、ツバメ、ヤマガラ）が抽出され、各種について予測モデルが構築された。モズ、オオヨシキリ、セグロセキレイ、ヤマガラ、アオゲラ、ホオジロ、カッコウ、キセキレイ、コジュケイの10種は、学習に用いた説明変数のうち、気温が最も予測モデルへの寄与が大きかった。一方、ヒバリ、

キジバト、コゲラ、メジロは水田面積の寄与が大きく、ムクドリとツバメは建物用地面積の寄与が最も大きかった。

各土地利用シナリオにおいて、3次メッシュ毎の鳥類の出現種数を各種の在不在予測値の積算によって取得し、地図化した(図4.1.5)。また予測種数の平均値をシナリオ毎に集計した(図4.1.6)。その結果、RCP2.6シナリオの下では土地利用シナリオ間での種数分布は、人口が減りにくいシナリオではわずかに種数が多いように見えるが顕著な差は見られず、30年程度先では土地利用シナリオ間による差異は大きくないことが示唆された。これは、比較的多くの種の分布予測が、土地利用に比べて気温の影響を受けやすいというモデルによって行われたためかもしれない。

しかし、今回の予測モデルは暫定的なものであり、解釈には注意が必要である。気温は標高と関連するため、気温が強く影響するとみなされた種については、実際に気温の変化で分布が変化しうなのか、現在の生息標高域に留まり続けるのか、各種の生態を鑑みて解釈するべきと考えられる。また、学習に用いたデータ数やデータの取得範囲が限られるため、予測精度が低い種も少なくない。(例えば、会津地域の生物分布情報は十分に考慮されていない。将来的には、予測(学習)に用いるデータの拡充や、モデルの精緻化により、より予測力が高く生態学的に妥当な予測モデルを適用していくことが望ましい。

このように本研究によって気温、降水量のデータと公開データを用いて生物多様性に関する予測値図を提供するフレームワークを構築し、実際にデータを投入して可視化することができた。しかし、この結果は様々な段階で不確実性をはらむものであり、より精度が高いものを作るには、気候、土地利用、生物モデリングの専門家が今後一層協力していく必要性が高いと考えられた。

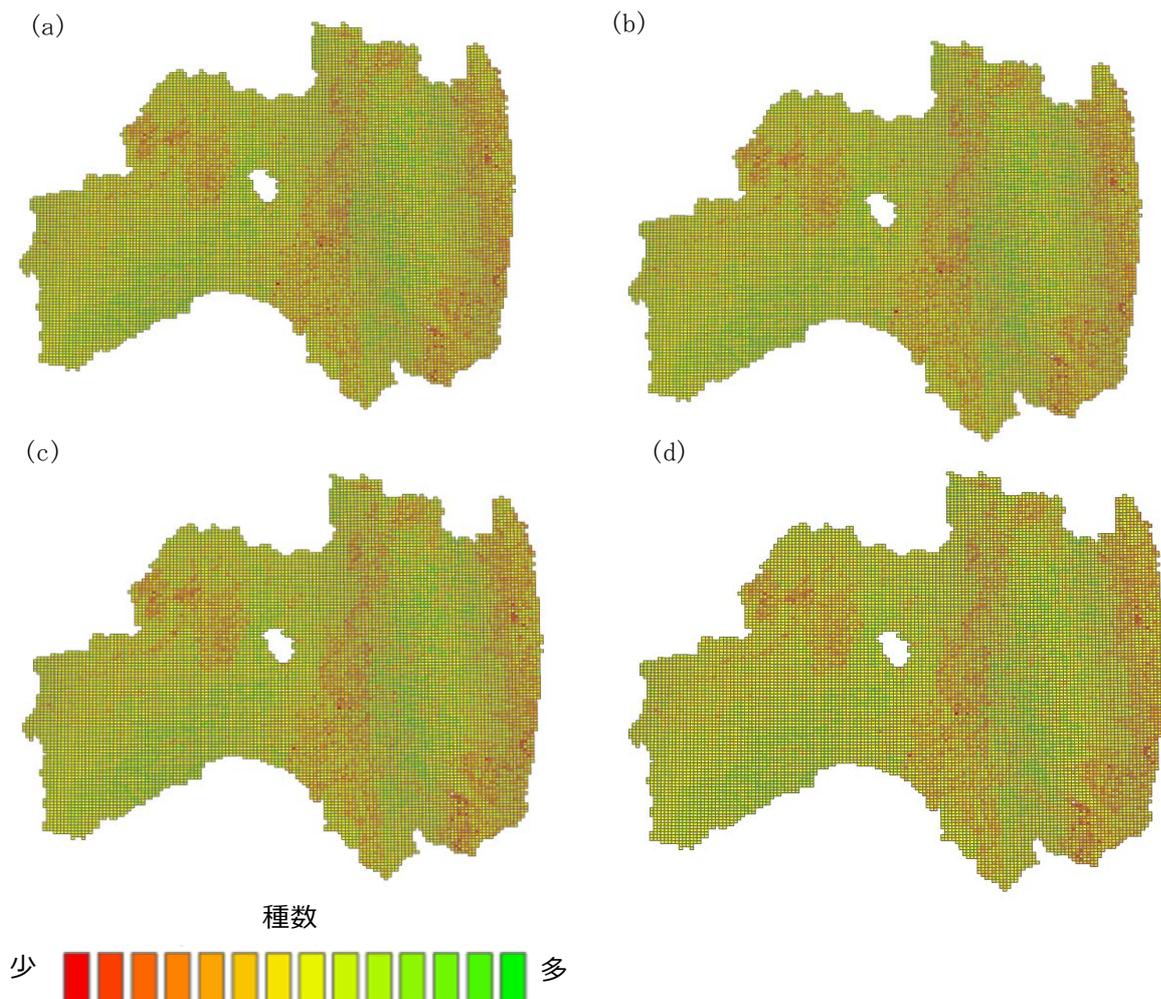


図4.1.5 Estoque et al. (2019)の4つの土地利用シナリオ(2050年)に基づく福島県の鳥類種数分布の将来予測例。(a)人口維持シナリオ、(b)コンパクト成長シナリオ、(c)なりゆきシナリオ、(d)限界化シナリオ

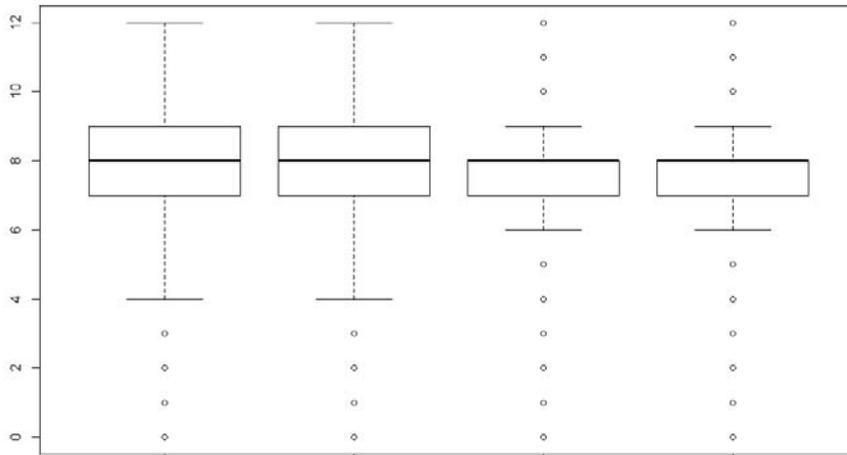


図4.1.6 4つの土地利用シナリオ（2050年）毎の福島県の鳥類種数予測値. (a)人口維持シナリオ、(b)コンパクト成長シナリオ、(c)なりゆきシナリオ、(d)限界化シナリオ

4.4 地域の脆弱性評価のための環境水質予測ツールの開発

河川水中のT-NとT-Pと人口密度の関係を図4.1.7に、人口シナリオごとに予測された2050年のT-N分布を図4.1.8に示す。水質と人口密度の関係は流域ごとに異なっており、ばらつきが大きいため回帰式による予測誤差は大きい。一方、各流域で各年度の水質・人口密度から回帰式を作成する場合は経年変化が小さいために信頼性の高い回帰式を得るのは難しい点があった。今後は流域人口密度だけでなく土地利用や気象等を考慮した予測式の精緻化が求められる。

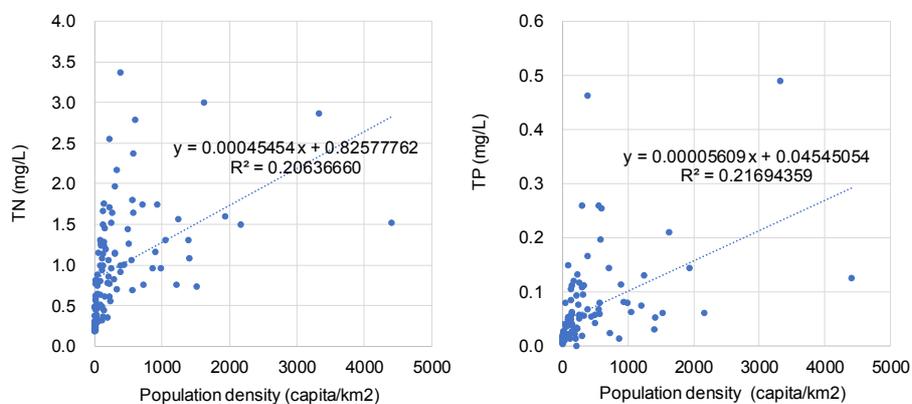


図 4.1.7 河川水中の左) T-N、右) T-P の回帰式

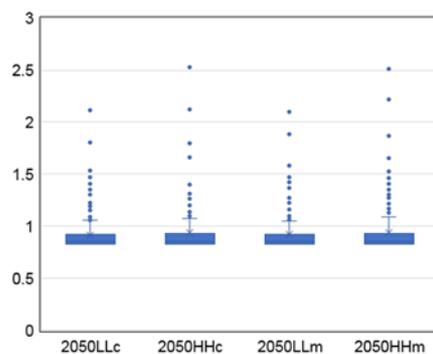


図 4.1.8 河川水における人口シナリオ別の T-N 分布

4.5 気候変動影響の統合評価フレームワークの開発

○統合評価指標に関するレビューとQOL構成要素指標の設定

これまで、国・地域の進歩の指標として、様々な複合指標の開発が国際機関・各国政府等において進められてきた。特に「経済パフォーマンスと社会の進歩の測定に関する委員会（CMPSP）」によるレポート（2009）はその後の各機関の指標開発に影響を与えたと考えられる。ここでは、1)物的な生活水準、2)健康、3)教育、4)仕事を含めた個人的な活動、5)政治発言権とガバナンス、6)社会的なつながりとガバナンス、7)環境、8)不安といった、幸福度を左右する条件が提示されるとともに、それらに関連するフローを生み出すためのストックの重要性が指摘されている。以降に開発された指標では、幸福度や持続可能性という視点がそれぞれ重視されている点が特徴的である。また、必ずしも単一の指標として統合せず、複数の指標を並列的に表示するダッシュボード型の表示方法が提案されている。また、OECDによるBetter Life Index(BLI)においては、客観的な指標と、「主観的幸福度」と統合する形で生活の質の評価指標が提案されている。一方、国連が新たに採用した包括的な豊かさの指標(IWI)では、フローではなくストックである資本の量を計測することに主眼がある。「持続可能性評価」と「生活の質」のそれぞれのコンテキストに基づいた評価指標として具体化されている。

そこで、特に「生活の質(quality of life)」に関連した気候研究のレビューを実施した。2000年から2017年までの期間を指定し、キーワードとして「生活の質(quality of life)」という用語によるウェブ・オブ・サイエンス(Web of Science: WoS)のデータベースの検索を行った結果、合計論文数は257,313件となった。過去18年間に於いてQOL評価に関する論文発表数が全体的に著しく増加する傾向を示しており、この領域が研究者及び学術コミュニティからますます注目を浴びつつあることを示唆している。しかしながら、主に医学系の研究に主導されていたため、政策評価との関連がより強いと考えられる研究分野にのみ焦点を置き、さらに、評価アプローチについて明示的な言及の無かった論文を除外することで、最終的に19件の論文を抽出した。19件の論文のうち8件がQOLを市街地あるいは都市部において評価しており、そのうち2件は交通システムに焦点を置いていた。

評価次元は多様であるが、使用された指標は概ね持続可能性のトリプルボトムラインに関連付けることが可能であった。さらに、多くが評価において主観的幸福度の観点を考慮していた。全体として、QOLという概念の本質からある程度予測されていたが、QOLの概念に繋がる可能性のある多様な次元や指標が考慮されていたことは示唆的である。この調査によって特定された研究分野の膨大なリストも、同様にQOLという概念の広範囲な視野を示している。

また、総合QOL指数を生成するにあたり、要素を統合する方法も様々に異なっていた。この目的に対して共通のアプローチが存在しないということが示唆される。統合化に関する議論には2つの側面がある。1つめは、総合指数には分析的フレームワークの統合の結果を明らかにする能力があり、「大局」を捉え、システムの状態や動向を幅広い対象へと伝える簡易統計を提供することができるという点である。反対に、総合指数は情報の損失がおこるため、測定が難しい重要な次元の無視、指標同士の相関性を見落とし、観察された状態あるいはプロセスに対する過度な単純化による誤った説明といった点について批判されており、方針や実践を間違えて指導する可能性がある。更に、QOLの次元または指標を統合することが、人々の生活の質を本当に反映することができるのかという点については常に疑問視されている。そのため、総合指数を使用する際にはこれらの問題に注意を払うことが必要である。また、計画と方針の段階において、総合指数が提供する簡易統計だけに焦点を置くよりも、特定の指標に注意が払われるべきであるという主張もあった。

気候変動、脆弱性、適応能力、敏感性、暴露、災害、あるいは危険といった気候に関するキーワードはQOL研究には十分に反映されていない。我々が調査したリストは気温や降雨量といった基本的な気候変数を含めたもの、気象災害への暴露や敏感性、温熱快適性や災害への暴露及び防災といった指標を含めたものもあった。しかしながら、全体的に、特に気候変動に関する問題という文脈において、QOL研究の範囲をさらに拡大する必要があると考えられた。

以上のレビューの成果をもとに気候変動が市民生活に影響を与えるプロセスと、各指標の着眼点の関

係を整理する。気候変動をはじめとした自然外力は、人間社会を取り巻くあらゆる自然資本、社会・人間資本、さらには人工資本へと影響し、それが現在の社会や地域状況や環境を規定している。その一部が構成員の生活の質（Quality of Life）として知覚される。これらの流れのうち、前節で分類した「持続可能性評価」に含まれる指標は、各国における資本及び富の状況を総合的に評価することを志向しており、アウトカムの視点は意識されていない。他方、「生活の質評価」は、それらの影響を踏まえつつ、一人一人の内的・外的状況の良し悪しを評価するものであった。本研究では評価の枠組みとして「生活の質評価」を参考とし、すなわち個人の価値観を考慮した重みづけ評価の構造を活用しつつ、気候変動影響を評価できる指標設定を行うことで、生活者の視点から気候変動影響を評価可能な評価手法（Climate Change related Quality of Life: CC-QOL）を提案する。

以上の構造を前提として、気候変動による国民生活・都市生活への影響を評価するために、既存のQOL指標を参考にして、気候変動の影響の連鎖に基づいたCC-QOL構成要素指標を抽出する。既往研究報告より、気候変動による地域社会へのリスクと、生活の質への影響、構成要素指標の設定を図4.1.9の通り整理した。QOL指標特定においては、1)気候変動による影響があるとされるものを可能な限り取り上げるとともに、2)個人の生活へ直接影響があると考えられる指標、3)現在の状況を占める類似データが入手できる指標、4)気候変動との影響がなくとも生活環境評価に欠かせないと考えられる指標を抽出条件とした。

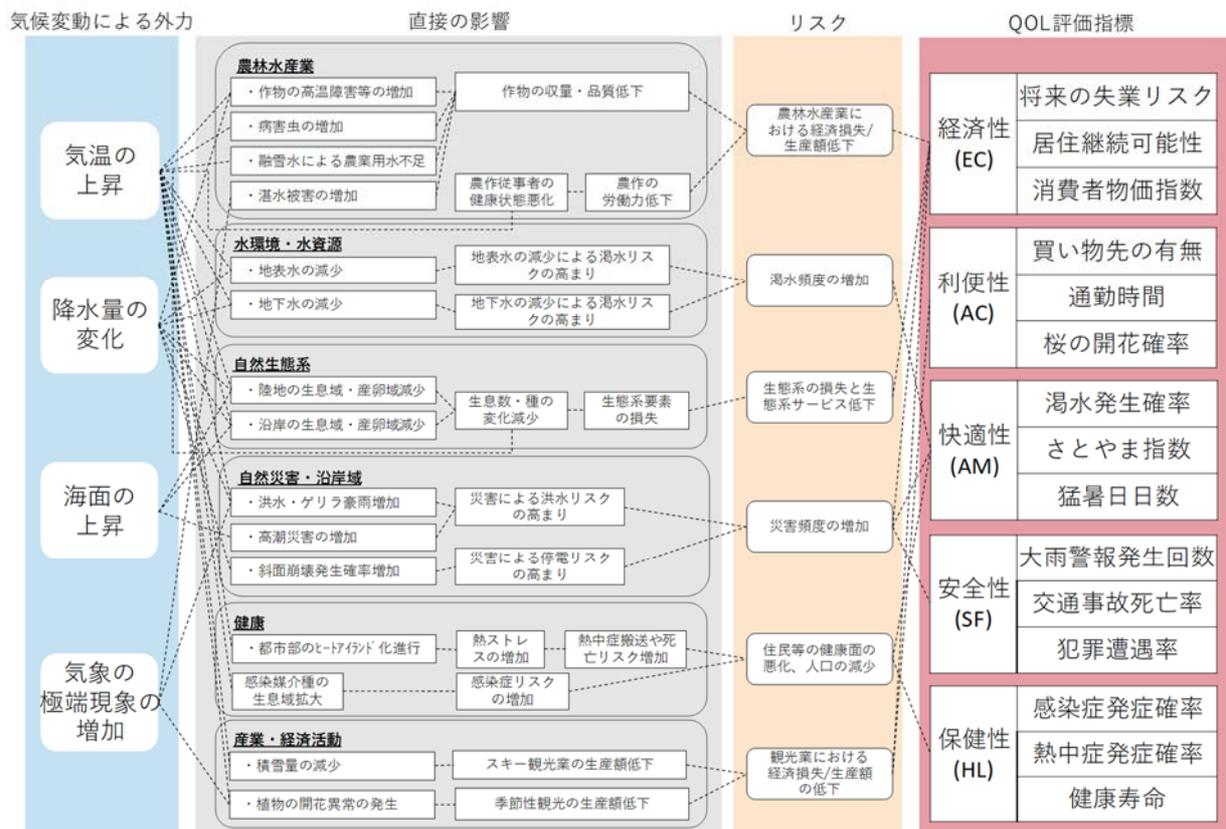


図4.1.9 気候変動の影響連鎖とQOL評価指標の設定

○市民価値観推計のためのアンケート調査

アンケート調査の結果、2,108人から回答を得た。回答者のうち、約20%が気候変動についてよく知っており、約35%が気候変動の影響に対してとても不安と回答している。コンジョイント分析の結果を表4.1.2に示す。推定にあたっては、アンケート回答者から得られた複数の選択結果のうち、選択結果の組み合わせが論理的に矛盾する回答を除去した選択結果をサンプルとして用いた。基準属性を設け、それ以外の属性はダミーとして推定し、p値<0.2となるパラメータを採用した。モデルの尤度比は0.42で、各パラメータをみても、統計的有意差を持った属性間の重みの違いが推計された。なお、パラメータ値は水準ごとの単位ではなく、よい水準を1、悪い水準を0としたダミー値で算出している。重みの違いを確認すると、男性より女性のほうが利便性や安全性、保健性に対する重みが大きい一方で、健康寿命に対する重みは女性のほうが小さい。年代別では、50歳代が全体として重みが小さく、20歳代の重みが大きい。特に、20代では失職リスクや物価など、経済性に対する重みが大きい。また、世帯に着目すると、子どもがいる世帯のほうが日常生活に関連する指標への重みが大きい。このことから、ライフステージの変化に伴い、重みも変化することがわかった。地域別にみると、東北や四国では渇水や感染症に対する重みが大きい一方で、九州・沖縄では猛暑日数や熱中症リスクなどで他地域より重みが小さい。また、都市規模が大きいほど徒歩圏の買物先の有無に対する重みが大きく、健康寿命に対する重みが小さい。大雨や感染症は規模が大きい都市のみならず、地方部の町村においても重みが大きい。職業別では、農林漁業は失職リスクのほか自然環境や大雨など気候関連に対する重みが大きい。一方、建設業では安全性や保健性など屋外作業に対するリスクを気にする傾向があるなど、職業によって重みが異なること

表4.1.2 市民価値観の推計結果

	定数 (基準)	性別		年代				居住気候区分						結婚	子ども	気候変動認知	気候変動の不安			
		女性	男性	20~29歳	40~49歳	50~59歳	60歳~	北海道	東北	北陸	東海	近畿	中国	四国	九州・沖縄	既婚	子どもあり	知らない	不安でない	影響ないと思う
経済性	失職リスク	1.42 ***	0.12	0.21	-0.24 *	-0.26 *											0.23 **		0.27 **	
	居住リスク	1.08 ***							0.17 *				0.37 ***	0.28 **				0.12		
	物価水準	0.86 ***		0.36 ***					0.34 *								0.10			-0.32
利便性	徒歩圏の買物先の有無	1.05 ***				0.13					-0.19 *						0.12 *			
	通勤時間	0.70 ***	0.12 *		-0.15 *								-0.13							
	桜の開花	0.67 ***	0.09																	
快適性	渇水の発生確率	1.36 ***				-0.19 *		0.24						0.29 **						0.77 **
	自然環境の多様性	0.66 ***								-0.16 *										
	猛暑日数	0.90 ***	0.31 ***				0.32 **							-0.16						0.54
安全性	大雨警報の発生回数	1.13 ***	0.21 ***	-0.24 *									0.36 ***							-0.16
	交通事故件数	0.68 ***		0.20 *									0.17 *							-0.17 *
	刑法犯認知件数	1.42 ***	0.23 ***	0.21	-0.23 **	-0.41 ***			-0.11								0.13 *			-0.12
保健性	感染症リスク	0.91 ***	0.25 ***	0.25 **				0.55 ***	0.10					0.38 ***		0.24 ***				0.40
	熱中症リスク	0.70 ***	0.31 ***			-0.15 *														-0.13
	健康寿命	1.20 ***	-0.10			-0.18 *														-0.15
家賃		1.16 ***	0.05		-0.20 ***	-0.14 ***	-0.31 ***	0.10				0.16	0.17 ***	0.10 *	0.10 *	0.14 **		0.17 ***		-0.13

	管理職	専門・技術職	販売職	サービス	保安	職種						都市規模			世帯年収					
						農林漁業	生産工程	輸送・機械運転	建設・探掘	運搬・清掃・包装等	無職	政令市	中核市	町村	200万円未満	1,000万円以上				
経済性	失職リスク	0.22 *	-0.34 **		1.19 **	0.38					-0.41 *					-0.35 **	-0.23 **			
	居住リスク										0.50 *					0.15				0.13
	物価水準					-0.52 *														
利便性	徒歩圏の買物先の有無	0.25 **	-0.24 *				-0.21				0.17 *	0.30	0.17							
	通勤時間						-0.16				-0.11 *									
	桜の開花					-0.54 *		0.29				-0.19	-0.16							
快適性	渇水の発生確率					0.54							0.11	-0.22	-0.24 *	-0.12				
	自然環境の多様性	0.19					0.57													
	猛暑日数	0.14									0.31	0.09								-0.15 *
安全性	大雨警報の発生回数	0.26			0.82 *	0.39	0.21		0.24				0.14 *	0.14	0.20					-0.12
	交通事故件数								0.35											
	刑法犯認知件数	0.16							-0.37 *		-0.38 *				0.19	-0.17 *	-0.29 ***			
保健性	感染症リスク	0.33					0.30 *		0.30				0.17 *	0.23 **	0.40 ***					
	熱中症リスク						0.65 *		0.34											
	健康寿命	0.50 **					-0.35 **	-0.29		-0.48 *		-0.16 *	-0.11							
家賃		-0.28 ***	-0.11 **		0.09 *		-0.34 *	0.31 **		-0.20 *	-0.15 ***		-0.08 *			0.14 **	0.14 **			

ρ²: 0.42

Signif. codes: '***' p<0.001, '**' p<0.01, '*' p<0.05, '.' p<0.1, ' ' p<0.2

基準属性 (性別: 男性, 年代: 30~39歳, 居住気候区分: 関東, 結婚: 未婚, 子ども: なし, 気候変動認知: 知っている, 気候変動の不安: 不安, 職種: 事務職, 都市規模: その他の市, 世帯年収: 200~1,000万円)

基準属性に比べて、重みが大きい場合を正のパラメータ、重みが小さい場合を負のパラメータで示している

例えば、20~29歳女性 (その他の属性は基準属性と同様) の失職リスクのパラメータは1.42 (定数) + 0.12 (女性) + 0.21 (20~29歳) = 1.75 のように算出できる

が確認できた。気候変動影響に不安を感じない回答者は安全性や保健性に対する重みが小さく、気候変動リスクに対する評価が小さい傾向が示された。

○統合評価フレームシステムの開発と適用

現在の日本国内各市区町村の状況を把握するため、各種統計資料に基づきCC-QOL構成要素指標に対応する現況測定データを収集した。なお、将来リスクを問うものなど必ずしも一致しない指標については類似指標を収集している。地域によりばらつきがあるが、その中でも交通事故や渇水、猛暑日数の変動係数が大きい。以上のデータを用いて市区町村単位の現状のCC-QOLを算出するとともに、各市区町村におけるQOLに最も大きな影響を与える正負の要因を抽出した。全体の傾向として、暑熱や洪水リスクなど様々なリスクが高い西日本のほうが、東日本より評価値が低い傾向にあった。都市部と地方部を比較すると、感染症や熱中症、事故・防犯リスクの高い都市部のほうが地方部よりもCC-QOL値が低い傾向にある。都市部の中でも、三大都市圏の中心部は通勤時間や買い物利便性など都市的利便性によりQOLを増加させる要因も多くある一方で、その周辺部については通勤時間が長く、買い物利便性も特段高くなく、一方都市部に顕著な感染症リスクなどは影響を受けることから、全体として低い傾向にあった。また、渇水リスクが極端に高い四国北部（高知、香川）で特に低い値をとっている。貨幣換算値としては100[万円/年・人]～-100[万円/年・人]程度に分布していた。

次に福島県を対象としてQOLに関する詳細分析を実施した。現況評価結果を図4.1.10に示す。QOL値は都市部が総じて平均程度であり、福島市、会津若松市周辺において市街地から郊外にかけてQOLは低くなる傾向にある一方、郡山市周辺では郊外部でQOL値が高い。市町村単位で集計すると、県南地域でQOL値が高く、南会津地域でQOL値が低い。福島市は、雇用や土砂災害、渇水で他地域よりも優れている一方、マイナス面では物価の影響が大きい。会津若松市は、他地域よりも渇水及び雇用が大きく劣っている。郡山市は雇用や感染症が他地域よりも劣るものの、土砂災害や渇水リスクが小さい。

さらに、気候変動や少子高齢化の進展がどの程度QOLに影響するかを把握するため2050年を基準想定とした将来シナリオ評価を実施した。なお、ここではQOL構成要素指標の将来予測値はIPCC（Climate Change and Land）報告書などに基づいて設定し、人口・土地利用の設定は本推進費にて実施した人口分布及び土地利用シナリオを活用した。また、気候変動影響に対する適応策には、ハードな防護対策や移転対策から情報発信の充実によるソフト対策まで多様であり、その費用や難易度は大きく異なる。また、個別の適応策実施の効果は、将来予測と同様に確定的に予測することはできない。そこで、本研究では分野横断型の適応策として、土地利用のコンパクト化実施時の感度分析を実施した。

シナリオの設定条件はシナリオ1がRCP2.6、土地利用はBAU、シナリオ2がRCP8.5、土地利用がBAU、シナリオ3がRCP2.6、土地利用がコンパクト化、シナリオ4がRCP8.5、土地利用がコンパクト化である。まず、シナリオ1では、中通り及び会津地方の市街地部を中心に一人あたりのQOL値が約10万～20万円/年低下する。シナリオ2では、ほぼ全域で現況よりもマイナスとなっており、特に阿武隈川などの2級河川沿いで大きく低下する。県全体では、シナリオ2のQOL値はシナリオ1よりもさらに約25万円/人・年低い。気候変動により、今よりもQOL値が大きくなる地域と小さくなる地域があり、地域差は拡大する傾向にある。また、現在QOLが高い地域であっても、将来は相対的に低くなる地域も確認できた。次に、各要素の寄与度を調べたところ、要素別では物価の上昇が最も影響が大きく、水害や土砂災害は特定の危険箇所ではQOL値が低く、RCP8.5ではより低くなっていた。また、渇水は他指標に比べやや広範囲に影響を及ぼしていた。次に、適応策を実施した場合のQOLについて検討した。シナリオ3、シナリオ4ともにBAUと比較すると、郡山市の南部地域でQOL値が増加しているものの、主要都市の中心部では適応策実施時のQOL値が低下していた。県全体におけるQOL値の増減を調べたところ、コンパクト化により、土砂災害危険リスクが低減する一方で、自然環境の多様性や渇水リスク、熱中症リスクが比較的高い都市部人口が増加し、さらに感染症リスクも高まるため、QOL値が低下したことが分かった。ただし、感染症リスクについては、総人口の減少により、現況よりはいずれも改善している。そのため、QOL値が最も高いシナリオは市街地部ではBAU、郊外部ではコンパクト化が望ましいという結果となった。一方、QOL値の変動係数をみると、BAUよりもコンパクト化のほうが小さく、格差の面では是正される傾向にあった。以上より、コンパクト

化施策を実施する際は、災害危険地域を避けた居住を推進するはもとより、居住の集約地区のリスク低減に向けた検討を合わせて実施することが求められる。

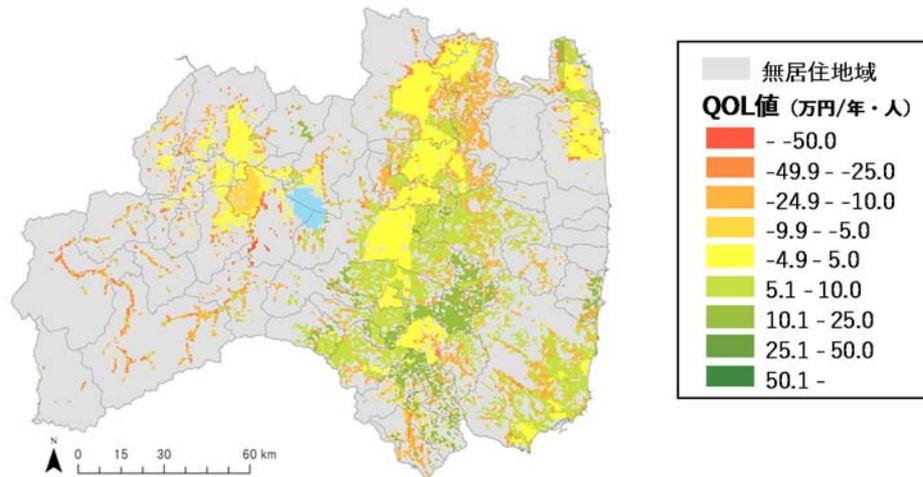


図4. 1. 10 福島県を対象としたQOL詳細分析結果

4.6 革新的手法を用いた統合的脆弱性評価システム

本研究では当初Vulpes IIをk. LAB上で開発し、プロトタイプを完成させた。このシステムでは概念をハードコードせずに、データの的に扱うことにより、コンピューターやソフトウェアの制約によって研究内容に制約を課すようなことはせず、研究の自由な発展をコンピューターが吸収できる特徴がある。

気候変動は直接的に人間社会へ影響を及ぼすだけでなく、生物多様性・生態系へも広範な影響を及ぼし、それが人間社会へ間接的に影響を与える。生態系の人間社会への恩恵は「生態系サービス」と呼ばれ研究が進んでいるが、気候変動は生態系サービスに多大な影響を与えると考えられた。課題代表者は先行研究において生態系サービス評価システムをk. LAB上で開発しており(Ooba et al., 2016)、これをベースとしてVulpes IIの生態系評価ツールをk. LAB上で実装した。

独自のオントロジー定義を、地理的要素(標高傾斜など)、土地利用種別などに行った。また気候、人口、土地利用の将来シナリオも切り替えられるようにデータ定義を行った。各分類における生態系サービス指標として、炭素蓄積速度(基盤)、食糧供給(供給)、土壌浸食防止(調整)等を選択した。考慮した生態系サービスの供給量は利用可能性を最大としたポテンシャル量、あるいは相対的値である。オントロジーの構成については図4. 1. 11に示した。推定・表示例は福島県内における森林による炭素蓄積速度の2014年における値と、2050年(モデル、MIROC、RCP=8.5)の比較である(図4. 1. 12)。

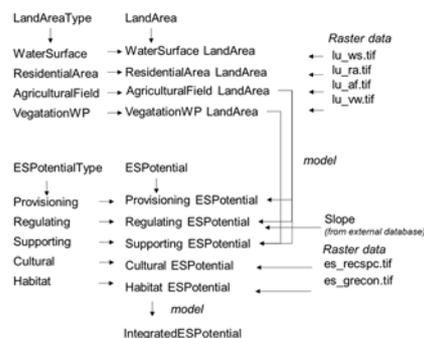


図4. 1. 11 オントロジーフレームワークの例

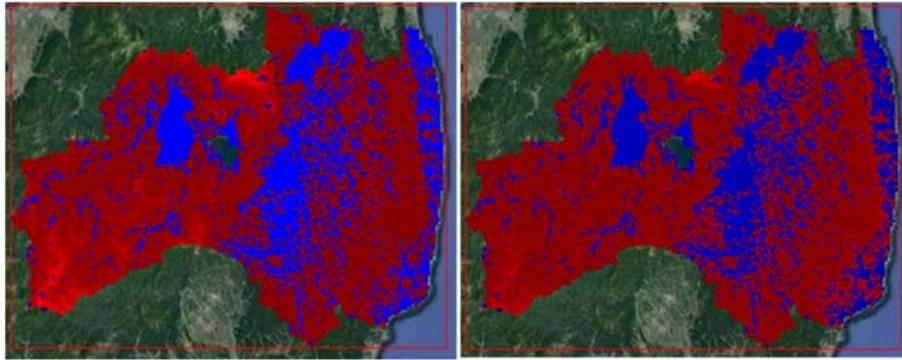


図 4.1.12 福島県内における森林による炭素蓄積速度試算例(左、2014年、右、2050年)

k. LABにおいて開発を進めるに従い、次のような技術的問題が見いだされた。一つは推論エンジンを含めたk. LABシステムのほとんどがスペインのサーバーにあり、サーバーの容量や途中のネットワークの状況等の問題によって、動作速度が非常に遅くなることがあり(GISレイヤーを表示するだけで1分以上かかることがある)、またこのようなタイムラグにより動作が不安定(表示結果が一意でない)である場合があった。2点目としてクローズなシステムではなく、ネットワークを通じて海外サーバーで処理されるため、秘匿性のあるデータの処理にセキュリティ問題があった。さらにプログラム開発上の問題としてk. LAB自体がプロトタイプのため(2018年度当時アルファ版)、バージョンアップによる旧コードの互換性など継続的なサービス提供や堅牢性に不安があり、しばしばバージョンアップに伴うコードの非互換性の問題が生じた。プロトタイプを自治体担当職員(郡山市)に紹介した際に、日本語が表示できないことや表示色や凡例が変えられないというインターフェイスや、GISソフト的な操作性に好印象を得られなかった。これらの多くの利用から、k. LAB上に本Vulpesシステムを開発し、開発終了後に開発チーム以外が日本国内でこのシステムを利用することは適切でなく、普及の困難を抱えると判断した。

k. LABで整備・開発した資産を活かし、指標やインパクトチェーンのGISによる可視化と自動推論に焦点を絞り、この必須である部分のみコードを最初(スクラッチ)から開発した(Vulpes II マイナーバージョン3、以降V3システムと称する)。V3システムは知識データベース、論理エンジン、GISから成り立つ。知識データベースはインパクトチェーンなどで得られた影響連鎖などの影響関係と指標データなどを格納している(図4.1.13)。

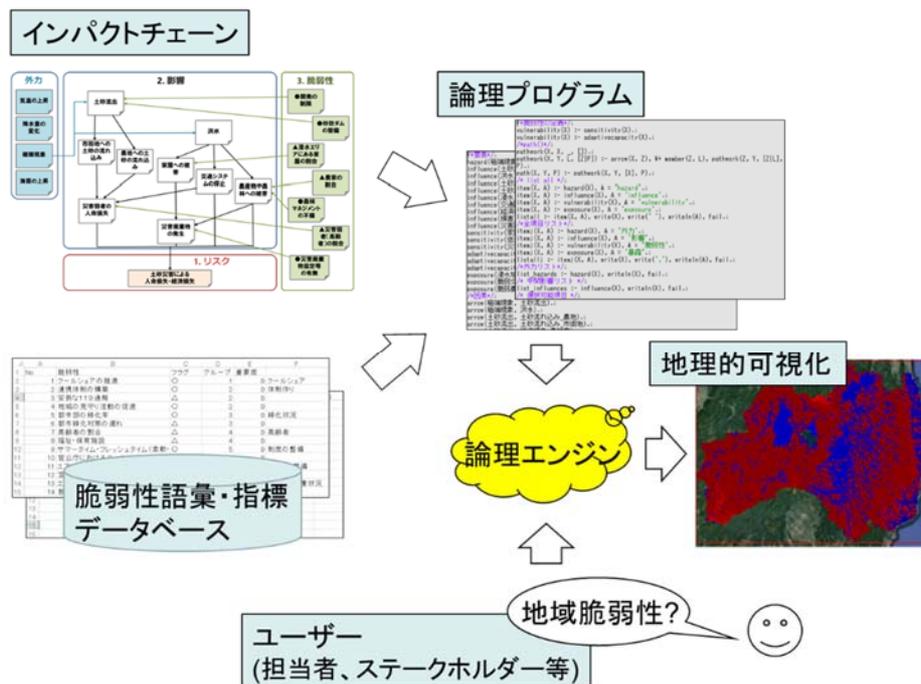


図4.1.13 論理プログラミングによるインパクトチェーンの可視化

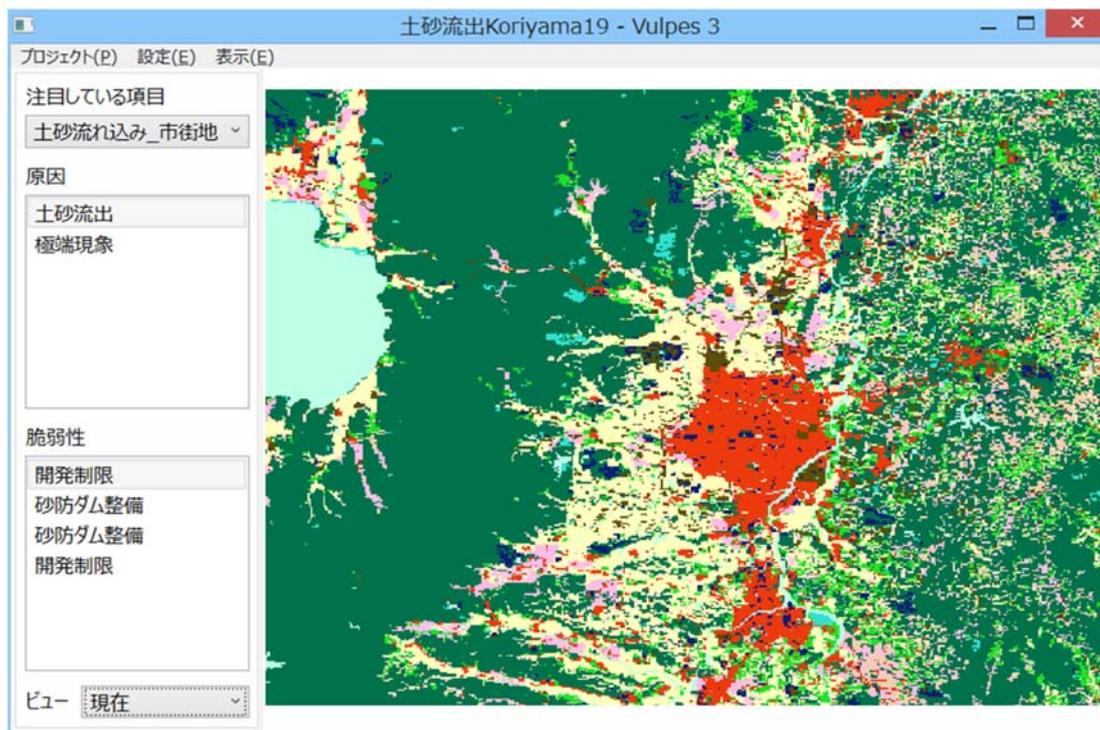


図4.1.14 システムスナップショット(郡山周辺土地利用を表示)

論理演算は論理プログラミングで堅牢性を持つシステムであるPrologを使用した。Prologには複数の系統があるが、SWI-Prolog(<https://www.swi-prolog.org/>)を使用している。またGISについては一般的な地理情報システムで使用されているArcGIS(ESRI Japan)のコンポーネントを使用した。GISやオントロジーなどの知識が一切ないような層を対象に、社会実装を目指した行政計画の立案支援として提供するシンプルなシステムとして開発した(図4.1.14)。

最後にサブテーマ2で開発した脆弱性指標(Vulpes I: V1)と、地域適応に関するワークショップにて参与型で開発した脆弱性を含むインパクトチェーンを比較した。全分野のインパクトチェーンをワークショップで開発したわけではないため、自然生態系、暑熱、水環境の脆弱性について比較を行った。

自然生態系については、V1システムとワークショップでの脆弱性の認識が、異なった。V1では国家生物多様性戦略などに掲げられている、生態系全般の保全や整備、生物多様性の保全などが指標として挙げられている。ワークショップにて自治体の担当者から挙げられた意見は、まず身近な生態系が健全でないこと(森林など)、またそれらを保全する担い手が不足している(高齢化、林業の衰退、獣害対策)。また希少種などよりは普通に見られる主からの鳥獣被害が最も関心事であることが理解された。

暑熱の脆弱性は概ね一致していた。しかしV1システムでは都市緑化への視点が欠けている。また救急搬送患者が多くなった場合について指摘されている。

また水環境について、環境に関する職員によって開発されたため、洪水などの防災に関する一般的な項目や、発災後の対応などについてはV1システムでは一通り整理されているが、ワークショップについてそれらが網羅的に指摘されることがなかった。しかし、台風19号被害に即した課題が多く指摘され、これはV1システムでは全く配慮されていない。また猪苗代湖という地域に即した課題が挙げられている。

以下のような、サブテーマ2が文献調査から得た結果と類似の定性的結果が得られた。

- ・国から自治体の地理レベルの違いによって、気候変動に対する脆弱性の捉え方が異なった(項目のグループレベルで違うこともある)
- ・自治体担当者からのワークショップを元にした脆弱性は、国レベルの脆弱性からみて包括性に劣った(欠落する項目・グループがある)。しかし前者は地域特性に応じた気候リスクが明示的・暗黙に認識さ

れ、実施されてきた地域の環境施策との接続性が強いいため、対応策の実施に地域の理解を得やすい
 ・自治体担当者からのワークショップにおいて、創発的な脆弱性の発見が期待される

最後の点において、暑熱を扱ったセッションにおいて「119番通報が多くなった際、医療体制の逼迫」が指摘された。この点について、現在の気候リスクとしての切迫度はあまり高くないが、2020年の新型コロナウイルス感染症において、患者数が地域の医療キャパシティを超える状態が問題となった。本課題で開発した手法は気候リスクの査定だけでなく、他のリスク要素についても同時的に検討できる可能性があり、行政を含めリスク管理業務の集約化と効率化に貢献できることが指摘された。

4.7 地域気候変動適応への社会実装研究

(I) 地方気候変動適応センター職員等向けワークショップ

地域における気候変動リスクや脆弱性の評価と地域適応策の検討を必要としている、関連分野の専門家、自治体における関連部局の担当者、民間の調査や研究に携わるコンサルタント等にも参加依頼を行った。また気候変動に関する専門知識を有する層に向け、A-PLATイベント告知欄で広く告知した。参加者は合計21名であった(図4.1.15)。



図4.1.15 地域の気候変動リスクや脆弱性に基づく適応策検討ワークショップ(2019年11月21日)

ワークショップは2019年11月21日の午後1時から4時間かけて行われた。冒頭の開会の挨拶の後に、Marc Zebisch氏よりインパクトチェーン等に関連した海外での事例等を紹介し、これから実施するワークショップのイメージについての情報を提供した。その後、司会者より次第の説明をした。

参加者を3つのグループに分け、2つのグループ(グループA、B)では日本語にて行い、残りの1つのグループ(グループC)では英語にて議論を行った。参加者の人数は各グループ6-7名であった。グループCは主に本課題参画者、研究協力者で構成し、Zebisch氏にも参加いただきワークショップ進行全般について随時助言を請うた。グループA、B、Cの取り上げる影響分野をそれぞれ、土砂災害、果樹、水稲とした。グループBは水稲をテーマにする予定であったが、参加者の希望により果樹に変更した。

プロセスi、ii(情報提供、自己紹介)ののちに、プロセスiii(外力と気候リスク)を実施した。リスクは、人命や経済損失などテーマ全体における気候変動による損失で、事務局にて予め設定した。外力は、「気温の上昇」や「降水量の変化」など予め設定したものと、ワークショップの議論を通じて追加した。

次にプロセスiv(影響要素)として、影響の検討を行った。その後、プロセスv(影響連鎖)としてアイデアを記載した付箋をカテゴリー分けした上で、それらの影響連鎖関係をファシリテーターが主導して議論をしながら矢印でつなげた。

プロセスvi(脆弱性)では、影響に関わる脆弱性を、参加者が順番に付箋に書き出し、矢印でつなげた。対象とするワークショップは気候変動に対する専門的な知識を有する参加者で構成されているものの、外力、暴露、影響といった概念と比較して、脆弱性はやや難解な概念であったようであり、繰り返し解説を行った。つまりIPCC AR5において脆弱性定義が採用され、脆弱性は感受性と適応能力の2種類があり、適応能力は制度・資金、システム、マネジメント、技術、知識等の様々な手法、感受性はそれらの

不足などであった。また様々な脆弱性について例示し、付箋を多く出してもらえるように促した。

プロセスvii(暴露、整理)において、参加者の意見も参考にしつつ、ファシリテーターが説明をしながら暴露を追加し、影響との関連を示すため矢印を結び付けた。

プロセスviii(完成と発展)としてこれまで作成したインパクトチェーンについて参加者が特に防ぎたいと思う影響と、特に対策すべきだと思う脆弱性について、各人それぞれ最大3つまで赤いステッカーを貼り付けることとした。参加者全員の評価が終わった後で、多くステッカーを集めた項目について、対応する適応策について議論した。

各グループにおいて開発されたインパクトチェーンの概要をまとめる。

グループAは災害(特に土砂災害)をテーマに議論を行った。土砂災害による影響先として、インフラ、家屋、産業(特に農林水産業)の大きく3項目に整理された。適応能力としては、農地・森林の整備、情報モニタリング体制の整備、防災インフラの整備、都市計画、防災情報の住民への周知、コミュニティ伝達、リソース・制度の7項目に整理された。プロセスviiiの優先度としては、人命への影響、家屋の倒壊、地滑りの防止の3項目に参加者の意見が集中した。人命の影響、家屋の倒壊、地すべりの防止。軽減したい脆弱性は都市計画によるコントロール、農地・森林整備、リソース・制度の充実であった。また、研究費の拡大を求める意見や、不動産や金融業界にリスクの高い地域での建築規制の実施等の独自の意見も出された。

グループBは果樹分野における議論を行った。果樹は激しい風の影響も受けることから外力として強風を追加した。その強風による果実の早期落下及び倒木の発生や、暖冬の影響等についての意見が出された。適応能力としては、大学・研究機関との連携、セミナー等の情報共有の場の設定、地域コミュニティリーダーの発掘・育成の3項目に整理された。プロセスviiiの防ぎたい影響において参加者の優先度で集中したのは、果実への高温障害、洪水。軽減したい脆弱性は地域の労働力の確保、気候変化と影響知識の浸透であった(図4.1.16)。ワークショップでは模造紙に手書きで作成しているが、見やすいように製図している。

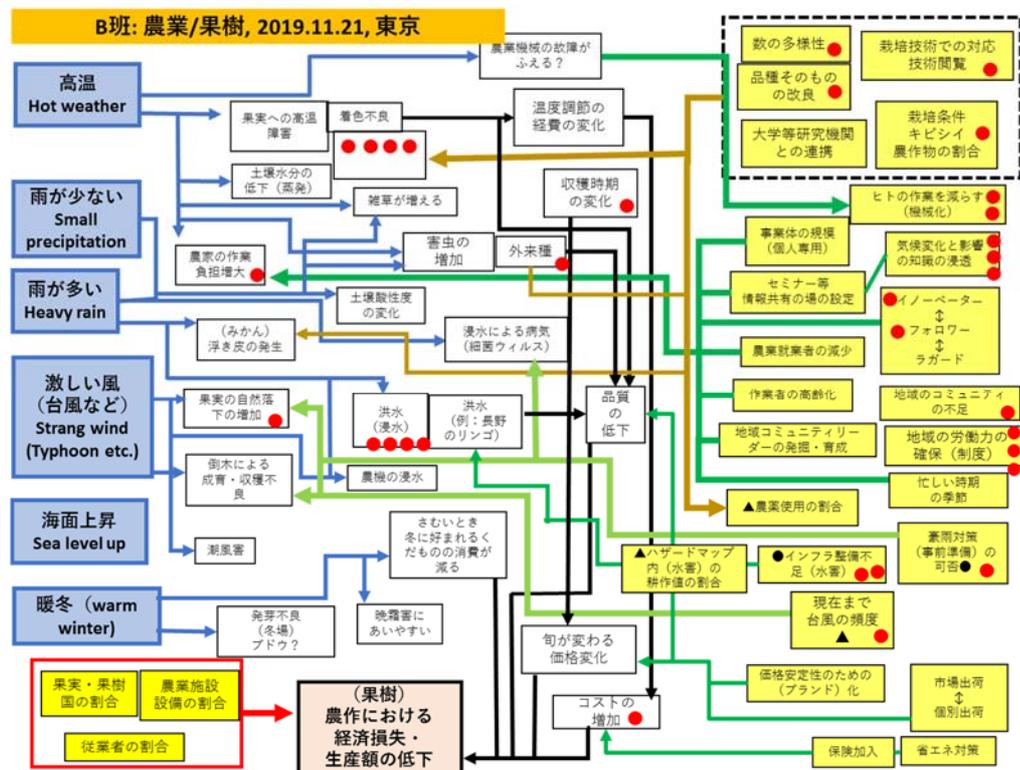


図4.1.16 インパクトチェーンの例(農業・果樹分野)

グループCは農業(特に水稻)をテーマに議論を行った。Zebisch氏からインパクトチェーン全般について随時コメントがあった。事務局が用意した外力を、議論の上で「雨の減少」から「水資源の減少」

に変更し、「雪の減少」を加えた。影響としては、ほぼ明らかな例として稲の収量と質の減少、続けて害虫及び水不足による干ばつ。害虫に加え、イノシシの増加なども挙げられた。気象害による、稲の倒伏、水利システムや水田自体の損壊とともに、社会的影響として農家の減少や消費者の好みの変化、気候の変化により他地域に稲作適地となり、競争者が出ること、価格の低下、作業環境の悪化(高温による)、耕作放棄等が挙げた。脆弱性としては害虫対策などへの情報不足、高温耐性の品種不足、見回りの人の減少、水資源を確保するための設備の不足、水管理の不足、堤防、川への近さ、農家の健康状態、地方自治体の支援の欠如、高齢化や好みの多様化が挙げられた。適応能力については品種の多様性・耐性がある品種開発、電気柵の設置、有機農法の実施、かんがい管理、ため池の整備、早期警戒システム、研究組織、農業団体による知識の共有、地域共同体の活性化が挙げられた。プロセスviiiの防ぎたい影響において参加者の優先度で集中したのは、高温下での悪作業環境、洪水、耕作放棄であった。脆弱性については対応して洪水防止、農家の高齢化、その他品種の多様性であった。

本ワークショップを通じて開発手法の課題も明らかになったが、AR5ガイドブック執筆者であり本ワークショップの手法の元となる手法を開発したZebisch氏からの確かなアドバイスもあり、全般的に参加者の満足度は高い結果となった。

(II) 地方自治体環境政策関連職員向けワークショップ

本ワークショップは、「こおりやま広域圏気候変動適応等推進研究会」(こおりやま広域連携中枢都市圏)の中で行われ、研究会は2019年度に4回開催された。この中枢都市圏は、郡山市と周辺15市町村とが連携協約を締結し設立された(2019年1月、二本松市とは2019年10月)。策定されている「こおりやま広域連携中枢都市圏ビジョン」(2019年3月)において、連携事業として「地球温暖化対策事業」(重点プロジェクト「□ オープンイノベーション」)があり、その文脈で研究会が開催された。

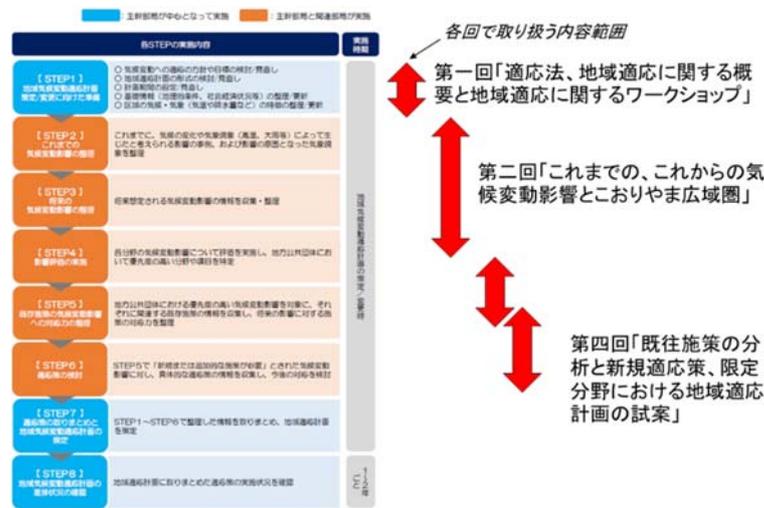
郡山市の呼びかけにより、15市町村の環境担当職員が参加した。各回平均24名(ファシリテーター除く)が参加した。第三回の前に台風19号の被害があり、環境担当関係の部署が対応に回ったため、研究会への参加者が比較的少なかった。また地方環境事務所、地方气象台、学識経験者、商工会議所、地域NPO組織からも出席があった(図4.1.17)。

全4回の内容は、環境省策定マニュアルのステップと対応させており、前半は情報提供を、後半はグループワークに重きを置いた(図4.1.18)。

第一回(2019年5月24日、郡山市総合福祉センター)は、国立環境研究所気候変動適応センターの豊村紳一郎氏(研究調整主幹)から「気候変動適応をめぐる動きと国立環境研究所の取り組みについて」と題して、気候変動や地方適応策に関わる全般的な情報提供を行った。後半は「適応策立案支援のための地域の脆弱性評価手法に関する研究」と題して、ワークショップの構成について説明する共に、2018年に郡山市と共催した適応に関するセミナーで示した全国、福島県内の気候変動と影響、また本課題で行っている研究などを紹介した。



図4.1.17 こおりやま広域圏気候変動等推進適応研究会(第2回、2019年8月7日)



4

図4.1.18 「こおりやま広域圏気候変動等推進適応研究会」全4回のスコープ

第二回(2019年8月7日、郡山市総合福祉センター)において前半は再度福島県内の気候変動と影響、また推進費課題で行った研究データなどを紹介し、後半にこれらの情報を参考としながら、環境省策定マニュアルに従って、ステップ2からステップ4-1まで(今後の気候変動影響の整理、影響評価)グループワークを行った。参加者を3班に分割し、班ごと影響分野の11-12小項目を割り当てて、作業を行った。こおりやま広域圏に直接関係ない小項目(沿岸など)は省略した。時間的な制約もあり、割り当てられた全ての評価を終えることができなかつたため、後日郡山市職員とフォローアップして評価を完成させた。

第三回(2019年11月29日、国立環境研究所福島支部)は、台風19号被害の影響もあり参加者が前回と若干異なつたため、前半で振り返りを行った後で環境省策定マニュアルに従って、ステップ4-2とインパクトチェーンの作成を行った。3班に分割してグループワークを実施した。ステップ4-2は前回の情報整理シートを再確認した上で、各項目に対する適応を優先的に取り組むべきか判断を行った。各班で判断した優先的に取り組むべき気候変動影響項目についてインパクトチェーンを作成した。ワークショップ形式によるインパクトチェーンの作成方法は(I)と同じだが、参加者は基礎自治体の職員であり、現場レベルの情報については詳細ではあるが、関連分野に関する情報についてはあまり詳しくないため、ファシリテーターが積極的に付箋などの内容についてコメントした。こおりやま広域圏における脆弱性について列挙した。班ごとに水環境、生態系、健康について検討を行った。

第四回(2020年2月14日、福島県環境創造センター)は、前回作成したインパクトチェーンに具体的に適応策を割り付けてゆく作業を行った。このワークショップでは、国立環境研究所における気候変動適応研究プログラム(2018年度-2020年度)「適応策立案支援のための地域循環共生圏指標の研究開発」の研究成果を利用した。この研究では、こおりやま広域圏15市町村の環境に関連した計画類(総合計画、環境基本計画)などを調査し、かつ全市町村の環境担当職員にインタビューした上で、気候変動適応に関連した既往施策と認められるものを収集した。参加者にこの成果を配布し、既往の施策でカバーできる脆弱性について検討し、また既往施策でカバーできない脆弱性について、どのような施策が必要なのか検討した。

以下、第三回と第四回における脆弱性と既往施策、今後期待される施策を班ごとに要約した。

A班では水環境・水資源分野が検討され、最初に森林管理が注目された。田村市では既に天然林を対象とした水源涵養機能に関する施策を実施していた。広域圏内でも同様の天然林に対する類似の施策の必要性、また人工林についても適応に関連した施策が必要であることが指摘された。次に用水路清掃が注目され、各市町村で用水路や水利施設、河川のゴミ等について議論があった。広域圏において猪苗代湖は重要な水源であるため、郡山市、猪苗代町が中心となって猪苗代湖の水質改善の取り組みが行われていた。加えて、令和元年の台風19号被害と関連し、水域のゴミが問題となった。また河川や湖沼の管理が、国、県などにかかる部分もあるためその部署との連携が指摘された。関連して、阿武隈川の土砂除

去や堤防が未整備の部分があること、ゲリラ豪雨に伴う郡山駅周辺の冠水対策なども議論された。上記の根幹に関わる課題に対して取り組みは、国や県が管轄する河川も関係しているため、調整の必要性が認識された。今後そういった管理者、ステークホルダーが参画した上でのインパクトチェーンの開発と、適応策の検討が必要であると指摘された。また、水環境は、自治体単独では意味のある施策を実施できないため、現在枠組みが出来ているこおりやま広域圏で連携できる部分は促進すべきであること、ソフトウェア的な施策(ボランティア、啓発)は容易でありさらに取り組むべきであることが指摘された。

B班では自然生態系について検討し、特に「農業鳥獣被害」が取り上げられた。外力の影響を受ける対象としてイノシシやシカ、クマといった比較的大型の生物を想定してきたが、在来種や固有種への影響という観点から「外来種」という見方もあるとの議論があった。筆頭に上がった脆弱性として森林管理があり、先ず山林の適正な管理が求められていることが示された。また生物多様性や、里地里山に配慮した保全計画や道路計画などが求められていることが指摘された。また狩猟圧の適正な利用が必要であり、少数ではあるが施策が実施されていた。被害防除の観点からは地域ぐるみの防護柵の設置なども重要であることが指摘された。また農業被害などについては、農業セクターとの密接な連携が必要であることが指摘された。しかし、影響先がかなり広範囲にわたる(湖沼や農林業ほか)ため、影響分野として自然生態系という枠では捉えきれない可能性が指摘された。農業に関連したインパクトチェーンを開発し、分野間の連携を分析する枠組みが必要であることが認識された。さらにこれら取組を下支えするものとして、自然生態系や地域の環境に関する教育を子どもから大人まで継続することも重要である。

C班では暑熱については、「社会生活への影響」「保健福祉システムへの影響」だけでなく、「産業活動(職場)への影響」についても想定された。空調の導入について、施設改善と併せて一定の対策がなされていると確認された。建物などが密集する都市部においては緑化の必要があり、関連した施策が郡山市などで実施されている事を確認した。しかし、適切な場所で緑化されているかについて、検証が必要ではないかという意見があった。また、都市緑化に関しては気温の上昇にともなって、植物の種類を見直す必要があるかもしれないという意見もあった。都市緑化は公園整備と関連するが、既存施策では十分であるか示すことが出来なかったため、この検討が必要であることも指摘された。以上ハードウェア的対策が進んでいることが認められたものの、一方でソフトウェア的対策については遅れが目立った。クールビス、クールチョイスと連動した施策は既に実施されていることが確認されたが、官公庁が主導であり、民間セクターへの普及がまだまだ進んでいないことも指摘された。住民や事業者はすでに自主的な適応行動をとっている(暑い日は長時間外を出歩かない、屋外作業の時間をずらす等)という意見もあった。一方で熱ストレスに対して脆弱である高齢者や年少者を含めた住民を守る体制が手薄であることが指摘された。適応策としては、こうした住民や事業者の自主的な適応行動を促すための仕組みを作ったり、熱中症の危険性そのものに対する啓発や、職場や学校への啓発の必要が指摘された。さらに、これらは保健福祉部門や民間で実施されているのではないかという意見があった。保健福祉部門や民間との連携を進め、健康福祉部門の担当者に「この施策も適応策である」と認識してもらうことが重要であると結論した。(図4.1.19)。

C班: 暑熱, 2019.11.29, こおりやま広域圏適応研究会

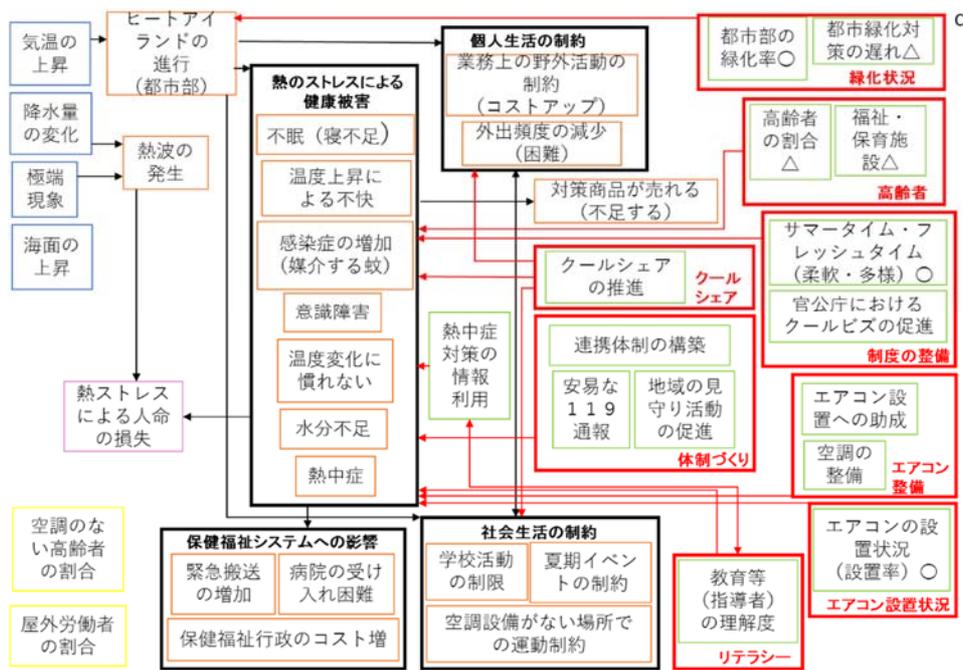


図4.1.19 インパクトチェーンの例(健康・暑熱分野)

最終回においてワークショップ全体についてアンケート調査を行った(図4.1.20)。概ねワークショップについて効果があったが、やはり手法を開発しながらの実施であったため細部まで行き渡った状態ではないことが読み取れる。また台風19号対応のため、インパクトチェーンを導入する第三回、第四回に参加できなかった事へ反省をする意見があった。災害発生は予見できないものの、予定外の事態が発生した場合のワークショップの進行について、何らかの対応が求められていることが示唆された。

この取り組みは2020年度も継続する予定であり、郡山市においては郡山市環境総合戦略に反映される予定である。また広域圏に関しては地域適応に関する何らかの指針を策定することを目標としている。

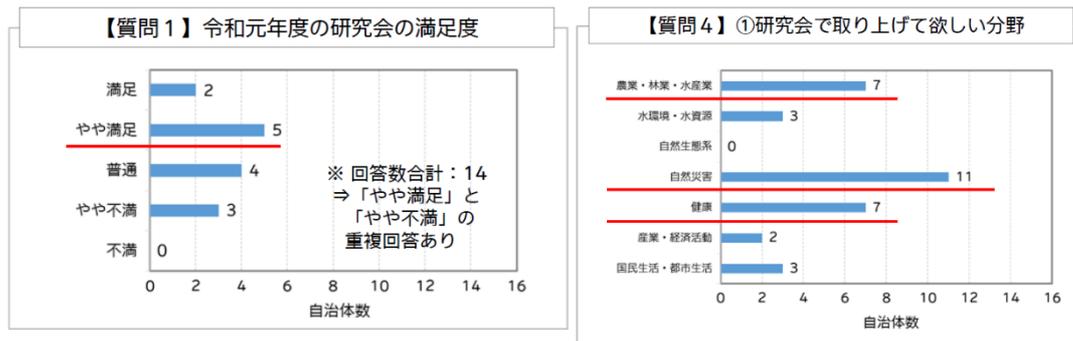


図4.1.20 「こおりやま広域圏気候変動等推進適応研究会」アンケート結果

(III) 自治体への研究成果等の提供

本推進費課題のアドバイザーの一人である渡邊明福島大学名誉教授を委員長として、研究チームはアドバイザー、ワーキンググループとして入った。ワーキングとしては各委員への気候変動を含めた環境問題へのヒアリングなどを行い、地域的な課題の抽出と適応策について整理した。

3回の委員会審議後に渡邊明福島大学名誉教授より棚倉町町長へ棚倉町環境基本計画が答申され、2020年5月現在、制定に向けて棚倉町において調整がなされている。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

脆弱性に影響を及ぼす要因を特定し、その将来の方向性により異なる将来活動量シナリオを構築し、定量化した。地域スナップショットモデル（地域SSモデル）を利用して、東北6県の市区町村レベルにおける、2050年の将来の人口、産業別生産額、従業者数等を2成長シナリオの元で推計した。

国土数値情報をベースとして現在(2014年)の土地利用状況を、衛星写真などを用いて確定させた。地域SSモデルの出力に基づき、人口が減少している局面での土地利用変化を予測するモデルを開発した。農地と建物用地において将来無管理化する土地利用種を設け、将来の人口予測などの説明変数によって無管理化する土地面積と配置を予測した。以上を元に東北6県の100mメッシュレベルでの土地利用を4シナリオの元で推計した。これにより、将来社会経済システム変動データの集約化を実施した。

将来の気候変動予測と本研究で得られた土地利用予測に基づいて、鳥類種の分布予測を機械学習（ランダムフォレスト）を用いて予測した。また将来の河川等の環境水質を広域に予測するため、福島県をケーススタディとし、流域データや水質データ等を整備し、水質モデルを開発した。既往気候変動影響・リスク研究データの集約化を実施した。

気候変動が国民生活・都市生活に与える影響をアウトカムの視点から多角的・統合的に評価するための手法を開発した。まず、既存の国民生活・都市生活に関連する指標を整理し、気候変動の影響連鎖との関係性に基づき、気候変動との関連が深いCC-QOL要素指標を抽出した。その上で、アンケート調査を実施し、市民のCC-QOL要素指標への価値観をコンジョイント分析により評価した。その結果、農林漁業従業者は自然環境や大雨などの気候関連に対する重みが大いなど、個人属性毎の特徴的な価値観が推計された。さらに、その結果に基づいて全国を対象として市区町村単位のCC-QOLの統合値を推計したところ、暑熱や洪水リスクなど様々なリスクが高い西日本のほうが、東日本より評価値が低い傾向にあること、大都市の郊外部で特に低い値を示すことが分かった。さらに、福島県を対象とした詳細評価を実施することで、気候変動の進展や適応策の実施の有無がCC-QOLに与える影響を評価した。

気候変動脆弱性や気候リスクをコンピューター上で推論できる基礎としてオントロジーや論理プログラミングによる方法を整理し、問題点を指摘解決した。既往のオントロジーGISシステムと新規開発した論理エンジン付きGISシステムによって脆弱性などを可視化するVulpes IIを実現した。サブテーマ1で開発された全国レベルでの脆弱性評価システム(Vulpes I)との比較を行い、地理的スケールなどが脆弱性概念に与える影響を分析した。

連携自治体と開発システムの適用可能性についての調査を実施した。Vulpes IIで示されたフレーム問題などに対処するため、地域適応に関わる行政担当者へのヒアリングに基づきニーズを把握した。また参与型で地域特性に応じた、地域の脆弱性やそれに対応する適応策を決めるフレームワークを開発した。これにより、評価システム(Vulpes I, II)の改良を実施した。このフレームワークを元に、地方自治体の環境を担当する職員とともにワークショップを開催し、地域に応じた具体的な脆弱性や適応策を収集した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

国立環境研究所の気候変動適応センターと連携し、上述のような成果を地方適応計画の立案のための手法として提供し、地方気候変動適応センター職員や地方自治体環境政策関連職員を中心としたワークショップの開催を行った。地域気候変動適応策樹立を目指す自治体(福島県棚倉町)への研究成果等の提供を行った。

<行政が活用することが見込まれる成果>

気候変動に対する脆弱性やリスクに関する情報として、Vulpes IIとそのデータ(東北地方における人口・土地利用予測、気候変動に伴うQOLへの影響評価など)を提供する。加えて、地方気候変動適応計画の立案のためのフレームワークの成果として、資料、セミナー講師、ワークショップファシリテーターなどの提供が可能である。関連して地域気候変動適応策立案に資する、ワークショップ等を開催する際の指針となる、ドイツ国際協力公社(2018)“Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation: A guidebook for planners and practitioners”を翻訳し、希望者に配布した。

6. 国際共同研究等の状況

2017年7月17日に名古屋大学にてk.LABに関する国内事前講習会を実施した。2017年10月2、3日、Ferdinando Villa教授、Javier Martínez-López博士及びStefano Balbi博士(BC3, Bilbao, Spain.)を招聘し、JAPAN k.LAB. WORKSHOPを東京で実施した。本ワークショップには国内研究機関から研究者を集め、オントロジーを用いたモデル統合利用環境について、その利用方法を参加者が習得し、生態系サービス評価フレームワーク等の実装に向けた利用可能性について議論を行った。2017年11月22、23日にスペインビルバオで開催されたFerdinando Villa教授が主催のk.LABに関する“Master course”に参加し、k.LABのより高度な利用方法について研修を受けた。

2019年11月20-26日にドイツ国際協力公社(GIZ)が発行する地域適応策立案ガイドライン(Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation -A guidebook for planners and practitioners-)の主要著者であるMarc Zebisch氏(Eurac Research、地球観測部門長)を招聘し、ワークショップ及び意見交換会を実施した。ワークショップでは、研究者や地域適応センターの関係者などを集め、インパクトチェーンを用いた気候リスクアセスメント手法についてのグループワークを実施した。その中で、Marc Zebisch氏より、地域でより効果的に行うための様々な示唆や、ワークショップ後の発展のさせ方、影響評価の仕方についての技術指導を受けた。また、ドイツ国際協力公社(GIZ)と協力して上記の地域適応策立案ガイドラインの日本語翻訳版『生態系を活用した適応策のための気候リスクアセスメントガイドブック』を作成し2020年3月に発行した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 高橋敬子、肱岡靖明、高橋潔、花崎直太、環境教育、27(2)(67)、74-81(2017)
オーストリア・シュタイアーマルク州における気候変動教育の取組 —日本の気候変動教育プログラムとの比較に基づいて—
- 2) Estoque R., Togawa T., Oba M., Gomi K., Nakamura S., Hijioka Y., Kameyama Y., AMBIO, 1-20 (2018)
A review of quality of life (QOL) assessments and indicators: Towards a QOL-Climate assessment framework
- 3) Osawa T., Yamasaki K., Tabuchi K., Yoshioka A., Ishigooka Y., Sudo S., Takada M.: Basic and Applied Ecology, 30, 41-51 (2018)
Climate-mediated population dynamics enhance distribution range expansion in a rice pest insect.
- 4) Osawa T., Yamasaki K., Tabuchi K., Yoshioka A., Takada M.: Ambio, 47, 806-815 (2018)
Detecting crucial dispersal pathways using a virtual ecology approach: A case study of the mirid bug *Stenotus rubrovittatus*.
- 5) Estoque R., Oba M., Avitabile V., Hijioka Y., DasGupta R., Togawa T., Murayama Y., Nature Communications, 10 (1829) (2019)
The future of Southeast Asia's forests

- 6) Estoque R., Gomi K., Togawa T., Oba M., Hijioka Y., Akiyama C., Nakamura S., Yoshioka A., Kuroda K., Science of the Total Environment, 692, 903-916 (2019)
Scenario-based land abandonment projections: method, application and implications
- 7) 大場真, 戸川卓哉, 渡邊学, 榎原友樹, 環境情報科学論文集, 33, 295-300 (2019)
気候変動に対する地域適応策のための脆弱性・リスク評価手法の開発: 地域レベル解像度-可視化システムと気候リスクコミュニケーション
- 8) Mo Y., Kim H.G., Huber P.R., Thorne J.H., Hijioka Y., Lee D.K.: Global Ecology and Conservation, 20 (2019)
Influences of planning unit shape and size in landscapes dominated by different land-cover types on systematic conservation planning.
- 9) Estoque R., Oba M., Seposo X., Togawa T., Hijioka Y., Takahashi K., Nakamura N.: Nature Communications, 11, 1581 (2020)
Heat health risk assessment in Philippine cities using remotely sensed data and social-ecological indicators.
- 10) 戸川卓哉, 高野剛志, 森田紘圭, 大場真, Ronald C. Estoque, 近藤美沙希, 地球環境研究論文集 (2020、査読中)
気候変動が住民の生活の質 (QOL) に与える影響評価指標の提案

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 大場真 (2018) 物質循環モデルと森林施業影響. 柴田 英昭編, 森林と物質循環(森林科学シリーズ第8巻), 共立出版, 149-197

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 大場真 (2017) 地球温暖化の影響予測と適応策検討:適応研究へのAI活用の可能性. 月刊ビジネスアイ エネコ, 50 (9), 24-26
- 2) 肱岡靖明 (2017) 気候変動影響への適応の取組. OECC 第82号会報, 8-10
- 3) 肱岡靖明 (2017) 地域における気候変動影響への適応のアプローチ. 環境管理, 46, 19-25
- 4) 肱岡靖明 (2017) -. 国立天文台, 理科年表 平成30年, 丸善出版, 1118p
- 5) 大場真 (2018) 地域資源を活かした地域環境創生-奥会津地域での取り組みを例に-. 環境共生, 33, 39-43
- 6) 肱岡靖明 (2018) 気候変動影響への適応. 環境技術, 47 (7), 371-375
- 7) 肱岡靖明 (2018) -. 国立天文台編, 理科年表 2019, 丸善出版, 1130p
- 8) 肱岡靖明 (2018) -. 国立天文台編, 環境年表 2019-2020, 丸善出版, 524p
- 9) 肱岡靖明 (2018) 気候変動影響・気候変動適応研究の現状. 全国環境研会誌, 43 (4), 8-15
- 10) 肱岡靖明 (2018) 気候変動と日本の水環境・水資源. 用水と廃水, 61 (1), 34-38
- 11) 肱岡靖明 (2018) 1.5°C特別報告書のポイントと報告内容が示唆するもの. 月刊ビジネスアイエネコ, (12), 24-27
- 12) 肱岡靖明 (2019) -. 国立天文台編, 理科年表 2020, 丸善出版, 1162p

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 肱岡靖明, 金沢エコ推進事業者ネットワーク第87回全体会 (2017)
気候変動の影響にどう向き合うか ~企業・地域として~
- 2) Hijioka Y. : The International Workshop on Environmental Epidemiology (2017)
Recent climate change adaptation activities in Japan
- 3) 大場真, 佐藤ゆき, Chris Fook Sheng Ng, 林希一郎, 栗山進一: 第66回東北公衆衛生学会、同予稿集、35 (2017)

国内地方都市における緑地環境指標と幼児の既往症に関する予備的研究

- 4) Ooba M., Estoque R., Hayashi C., Gomi K., Nakamura S., Yoshioka A., Kuroda K., Hijioka Y.: The 9th Ecosystem Services Partnership (ESP) world conference, Abstracts (2017)
Scenario analysis of the future ecosystem services in fukushima, Japan.
- 5) 肱岡靖明：NSC定例会(2017)
適応に関連するIPCCの最新動向
- 6) Hijioka Y., Fujimori S., Takakura J., Hasegawa S., Hanasaki N., Shu J.: International Workshop of A study on Assessing Climate Change Impacts and Policy Development in Korea (2017)
Research on Development of an Integrated Assessment Model incorporating Global-scale Climate Change Mitigation and Adaptation.
- 7) 小林航、林希一郎、大場真：第20回記念(2017年度)日本環境共生学会学術大会，同予稿集，196-200 (2017)
1955年と現在の生態系サービス供給ポテンシャルの変化—愛知県西部の事例—
- 8) 中村隼雄、中根英昭、大場真：第20回記念(2017年度)日本環境共生学会学術大会，同予稿集，188-195 (2017)
鏡川上流域圏土佐山地区のスギの森林管理に関するシミュレーション：主伐期の効果
- 9) Ooba M., Togawa T., Fujii M., Nakamura S., International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017, Abstracts (2017)
A feasibility study about minimum woody-energy system considering local carbon emission in Aizu region
- 10) 肱岡靖明：平成29年度 島根県地球温暖化対策推進会議 (2017)
気候変動による影響とその適応策
- 11) 肱岡靖明：2017地球温暖化対策フォーラムinひょうご「気候変動がもたらす影響とその適応策」(2017)
気候変動がもたらす影響とその適応策
- 12) Oba M., Togawa T., Fujii M., Gomi K., Nakamura S.: 12th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 同予稿集, 347 (2017)
Spatial analysis about promoting usage of woody considering regional socioeconomic and ecosystem
- 13) Togawa T.: The 12th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems; SDEWES Conference (2017)
Design and standards of Distributed energy system Based on mathematical programming - Study on biomass CHP system in a mountainous area-
- 14) 肱岡靖明：民間事業者による気候変動適応促進ワークショップ (2017)
適応の科学的側面
- 15) Oba M., Hayasi K: The 9th Ecosystem Services Partnership (ESP) world conference, Abstracts (2017)
Beneficiary mapping of forest ecosystem service
- 16) Yoshioka A., Mishima Y., Kumada N., Fukasawa K.: The 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, 4th International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity Abstracts Book, 197-198 (2017)
Monitoring flying insects inside the Fukushima evacuation zone.
- 17) Ohba M., Estoque R., Akiyama C., Gomi K., Nakamura S., Yoshioka A., Kuroda K., Hijioka Y.: The 9th Ecosystem Services Partnership (ESP) world conference, Abstracts (2017)
Scenario analysis of the future ecosystem services in fukushima, Japan.

- 18) Estoque R., Oba M., Togawa T., Nakamura S., Hijioka Y.: 9th ESP World Conference, Abstract (2017)
Future changes in Southeast Asia's forest cover and its ecosystem service value under the shared socioeconomic pathways (SSPs).
- 19) 大場真、藤井実、戸川卓哉、中村省吾、根本和宜、DOU YI、辻岳史：日本エネルギー学会第13回バイオマス科学会議、同学術講演集、15-16 (2018)
木質バイオマス利活用促進に伴う上流から下流までの炭素蓄積に関するシミュレーション
- 20) 大場真、岡野航介、古林敬頭、中田俊彦：日本エネルギー学会第13回バイオマス科学会議、同学術講演集、47-48 (2018)
森林資源の空間情報分析に基づく木質バイオマス伐出システムの統合デザイン
- 21) 肱岡靖明：第11回つくば3E（環境・エネルギー・経済）フォーラム会議 (2018)
気候変動による影響とその適応策
- 22) 肱岡靖明：大分県環境マネジメントシステムの環境教育 (2018)
気候変動による影響とその適応策
- 23) 肱岡靖明：(株)日立製作所 環境ステークホルダダイアログ (2018)
気候変動の影響の度合と適応策でのICTへの期待
- 24) 大場真、戸川卓哉、中村省吾：第129回日本森林学会大会、同学術講演集、101(2018)
生態系モデルを用いた木質バイオマス生産シミュレーション
- 25) 大場真、ESTOQUERONALD CANERO、吉岡明良、林希一郎：第65回日本生態学会 (2018)
セマンティック統合モデルソフトを利用した生態系サービス評価：気候変動による影響
- 26) 肱岡靖明：農業気象学会 75周年記念大会一般公開シンポジウム (2018)
気候変動による影響とその適応策
- 27) Kobayashi W., Hayashi K., Ooba M.: International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017, Abstracts (2017)
Carbon Stock and Ecosystem Service Mapping of Various Land Use Types by Integrated ES Modelling in Aichi, Japan.
- 28) 吉岡明良、三島啓雄、熊田那央、深澤圭太：日本生態学会第 65 回全国大会 (2018)
福島県の避難指示区域解除過程における飛翔性昆虫群集
- 29) 大場真：第 21 回 (2018 年度) 地域シンポジウム、同予稿集、25-29 (2018)
地域資源を活かした地域環境創生-奥会津地域での取り組みを例に。
- 30) Oba M., Togawa T., Nakamura N., Nemoto K., Fujii M.: Grand Renewable Energy 2018 - International Conference and Exhibition, Program, 109 (2018)
Mitigation effects of woody biomass usage in eco and social systems.
- 31) Togawa T., Oba M., Estoque R., Gomi K., Yoshioka A., Kuroda K., Nakamura S.: 5th International Climate Change Adaptation Conference (Adaptation Futures 2018: Dialogues for Solutions), Abstract (2018)
Development of a pluralistic vulnerability assessment system considering regional environment for adaptation planning.
- 32) Estoque R., Oba M., Togawa T., Nakamura S., Gomi K., Hijioka Y., Yoshioka A., Kuroda K.: 5th International Climate Change Adaptation Conference (Adaptation Futures 2018: Dialogues for Solutions), Abstract (2018)
Downscaling future forest cover changes under the shared socioeconomic pathways: Implications for mitigation and adaptation.
- 33) Estoque R., Oba M., Togawa T., Gomi K., Akiyama C., Nakamura S., Kuroda K., Yoshioka A., Hijioka Y.: International Conference on Spatial Analysis and Modeling, Abstract (2018)
Spatial modeling of land abandonments in Fukushima Prefecture, Japan.

- 34) Oba M., Togawa T., Nakamura S., Nemoto K., Fujii M.: The 13th Biennial International Conference on EcoBalance, Abstracts, 59 (2018)
Boundary problems of woody biomass usage:A temporal eco-socio-system approach.
- 35) Oba M., Togawa T., Nakamura S., Gomi K., Yoshioka A., Kuroda K., Estoque R., Hijioka Y.: 13th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment systems, Abstract, 169 (2018)
Pluralistic Evaluation System of Vulnerability to Climate Change for Local Environmental Planning.
- 36) Oka K., Hijioka Y., Fukumura Y., Watanabe M.: Adaptation Futures 2018 (2018)
Process for creating A-PLAT: A website to facilitate implementation of the National Adaptation Plan in Japan.
- 37) Hijioka Y., Watanabe M., Fukumura Y., Oka K.: Adaptation Futures 2018 (2018)
A study on guidelines for local adaptation planning to develop a standard for local governments and communities- And developing ISO/TS 14092-.
- 38) Hijioka Y.: Adaptation Futures 2018 (2018)
Japan's Experience in Climate Change Adaptation.
- 39) Hijioka Y.: THE 10TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATE CHANGE ADAPTATION (2018)
Japan's Experiences for Climate Change Adaptation.
- 40) Hijioka Y.: LCS-Rnet10th Annual Meeting (2018)
Japan's Experiences for Climate Change Adaptation.
- 41) 肱岡靖明: 平成 30 年度福岡県地球温暖化防止活動推進員研修会「気候変動適応等に関する講演会」(2018)
気候変動による影響と適応策について.
- 42) 肱岡靖明: 平成 30 年度地域適応コンソーシアム中国四国地域事業「鳥取地域における気候変動影響事例調べワークショップ」(2018)
気候変動影響への適応推進に向けて.
- 43) 肱岡靖明: 平成 30 年度地域適応コンソーシアム中国四国地域事業セミナー(2018)
気候変動影響への適応推進に向けて.
- 44) 肱岡靖明: 平成 30 年度富山県環境科学センター研究成果発表会(2018)
地球温暖化の影響とその適応について.
- 45) 肱岡靖明: 気候変動適応法施行記念国際シンポジウム(2018)
気候変動の影響.
- 46) 五味馨, 岡島優人, 藤田壮, 井上剛, 牧誠也, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹, DOU YI, 越智雄輝: 第 46 回環境システム研究論文発表会, 講演集, 175-183 (2018)
建築物更新を考慮した将来空間分布シナリオ構築手法の開発.
- 47) Hijioka Y.: International Workshop on Climate Change Adaptation Decision Support (2019)
Climate Adaptation Act in Japan and NIES's related activities in 2019.
- 48) 肱岡靖明: 平成 30 年度エネルギー特別講座「IPCC1.5℃特別報告書について」(2019)
IPCC 1.5℃特別報告書～第 3 章～自然及び人間システムにおける 1.5℃地球温暖化の影響.
- 49) 肱岡靖明: シンポジウム「動き出すパリ協定、選ばれる企業」(2019)
気候変動によるリスクと適応.
- 50) 山崎和久, 田淵研, 高橋明彦, 大澤剛士, 吉岡 明良, 高田まゆら: 第 63 回日本応用動物昆虫学会大会, 同予稿集, 161 (2019)
斑点米カメムシ 2 種における生活史形質の地理的変異パターンの解明.
- 51) 大澤剛士, 山崎和久, 田淵研, 吉岡 明良, 須藤重人, 石郷岡康史, 高田まゆら: 第 63 回日本応用動物昆虫学会大会, 同予稿集, 161 (2019)

- レガシーデータを再利用してアカスジカスミカメの分布拡大メカニズムに迫る.
- 52) 高田まゆら, 吉岡 明良: 第 63 回日本応用動物昆虫学会大会, 同予稿集, 160 (2019)
「斑点米カメムシ類の分布拡大機構の解明: 個体群生態学から景観、マクロ生態学へ」趣旨説明.
- 53) 肱岡靖明: Signs from Nature 公開記念イベント《東京》 (2019)
現在日本で起きている気候変動影響、並びに今後予測される変化・影響について.
- 54) 肱岡靖明: 第 46 回長野県環境科学研究発表会 (2019)
気候変動による影響とその適応.
- 55) 肱岡靖明: 2019 年度エコカレッジ (職域コース) (2019)
気候変動適応センターとしての役割.
- 56) Ooba M., Nakamura S., Estoque R., Togawa T., Gomi K.: PSP Networks for Sustainable Forest Management in Sarawak, (2019)
Modeling from the upstream to downstream for sustainable harvesting and local society: Japan case study.
- 57) 大場真: 平成 30 年度 NPO 法人福島環境カウンセラー協会総会 (2019)
連携で読み解く地域の未来環境ビジョン: 最近の SDGs・気候変動適応の動き.
- 58) 肱岡靖明: IPCC シンポジウム「気候変動への適応」 (2019)
日本における平成 30 年夏の酷暑、豪雨.
- 59) Hijioka Y.: 2nd International Climate Change Adaptation Platform Meeting (2019)
Climate Change Adaptation Information Platform Engagement Approaches -Case of Japan-.
- 60) Hijioka Y.: 2nd International Climate Change Adaptation Platform Meeting (2019)
Brief review of the 1st International Climate Change Adaptation Platform Meeting.
- 61) 肱岡靖明: 統合的気候モデル高度化研究プログラム 令和元年度公開シンポジウム (2019)
気候変動適応推進のための気候予測シナリオへの期待.
- 62) 肱岡靖明: アスクル環境フォーラム 2019 (2019)
気候変動にどう適応すべきか.
- 63) Hijioka Y.: International Workshop on Model Of inTegrated Impact and Vulnerability Evaluation of Climate Change, (2019)
Climate change Adaption activities in Japan/NIES.
- 64) Hijioka Y.: The 3rd International Climate Change Adaptation Platform Meeting (2019)
The 3rd International Climate Change Adaptation Platform Meeting.
- 65) 肱岡靖明: エコプロ 2019 同時開催セミナー・シンポジウム 環境省シンポジウム SDGs 経営 中小企業ができること 今「気候変動への適応を考える」 (2019)
気候変動適応推進に向けた国立環境研究所の取り組み.
- 66) Hijioka Y.: European Climate Change Adaptation conference (ECCA 2019) (2019)
A way to establish National Adaptation Policy -Case of Japan -.
- 67) Hijioka Y.: Adaptation Framework-. European Climate Change Adaptation conference (ECCA 2019), (2019)
A way to standardize local adaptation planning -Approach through ISO -.
- 68) Fukumura Y., Oka K., Hijioka Y.: European Climate Change Adaptation conference (2019)
National Adaptation Policy and Its Influence on Local Practice: Climate Change Adaptation Act.
- 69) Togawa T., Oba M., Estoque R., Tsuji T., Gomi K., Yoshioka A., Nakamura S., Morita H., Kachi N.: 4th European Climate Adaptation Conference 2019 (ECCA 2019), 2019/5/29, CCB, Lisbon (2019)
A climate change impact assessment framework based on outcome indicator: values estimation focusing on the citizens' quality of life.

- 70) Togawa T., Ooba M., Gomi K., Yoshioka A., Nakamura S., Koroda K., Hijioka Y., Estoque R.: Tsukuba Conference 2019, 2019/10/3, つくば国際会議場 (2019)
Combined impacts of climate change on local societies
- 71) 戸川卓哉, 大場真: 令和元年度 環境研究総合推進費 研究成果発表会, 環境科学会, 2019/9/13, 名古屋大学(2019)
適応策立案支援のための地域環境を考慮した多元的脆弱性評価手法の開発
- 72) Ooba M., Togawa T., Nakamura N., Gomi K., Yoshioka A., Kuroda K., Estoque R., Hijioka Y.: 4th European Climate Adaptation Conference 2019 (ECCA 2019) (2019)
Visualizing local vulnerability to climate change for local environmental planning and communication with policymakers and stakeholders
- 73) Ooba M., Togawa T., Nakamura S.: The 14th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, SDEWES 2019, Abstracts (2019)
Balancing the trade-off between promoting renewable energy and protecting ecosystem services under climate change.
- 74) Estoque R., Oba M., Togawa T., Hijioka Y., Murayama Y.: American Association of Geographers Annual Meeting, Abstracts (2019)
Urban Heat Risk Assessment Using Remote Sensing and Socioeconomic Data.
- 75) 肱岡靖明: 令和元年度地球温暖化対策市町村担当職員研修会(2020)
地方公共団体における適応策の推進について.
- 76) 肱岡靖明: 第23回環境コミュニケーション大賞表彰式(2020)
気候変動適応推進に向けた取り組みの最前線.
- 77) 吉岡明良, 松木伸浩, 三田村敏正, 遠藤わか菜, 清水明, 大内博文, 小熊宏之, 深澤圭太, 熊田那央, 神宮翔真, JO Jaeick, 田淵研: 日本生態学会第67回全国大会 (2020)
福島県の避難指示解除後営農再開水田における赤トンボ類の自動撮影調査の試み.
- 78) 大場真, 中村省吾, 戸川卓哉: 第131回日本森林学会大会, 同予稿集 (2020)
マルチドメイン問題としての中山間地への再エネ導入.

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 一般公開シンポジウム「気候変動適応に関するセミナー」(主催: 郡山市、共催: 国立環境研究所、2018年11月26日、郡山市役所特別会議室、観客約50名)を開催
- 2) 一般公開シンポジウム「第2回気候変動適応に関するセミナー(農業編)」(主催: 郡山市、共催: 国立環境研究所、2019年2月19日、郡山市役所特別会議室、観客約50名)を開催
- 3) 「第1回こおりやま広域圏気候変動適応等推進研究会」(2019年5月24日、郡山市役所、参加者: 広域圏自治体環境部門職員を中心に36名)を企画するとともに研究成果に基づくワークショッププログラムを提供
- 4) 「第2回こおりやま広域圏気候変動適応等推進研究会」(2019年8月7日、郡山市役所、参加者: 広域圏自治体環境部門職員を中心に32名)を企画するとともに研究成果に基づくワークショッププログラムを提供
- 5) 「第3回こおりやま広域圏気候変動適応等推進研究会」(2019年11月29日、環境創造センター、参加者: 広域圏自治体環境部門職員を中心に20名)を企画するとともに研究成果に基づくワークショッププログラムを提供
- 6) 「第4回こおりやま広域圏気候変動適応等推進研究会」(2019年2月14日、環境創造センター、参加者: 広域圏自治体環境部門職員を中心に23名)を企画するとともに研究成果に基づくワークショップ

プログラムを提供

- 7) 「地域の気候変動リスクや脆弱性に基づく適応策検討ワークショップ」（2020年11月21日、TKP東京駅日本橋カンファレンスセンター、参加者：地域適応センター関係者を中心に21名）を企画するとともに研究成果に基づくワークショッププログラムを提供

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 福島民報（2020年4月25日、11頁、「気候変動にどう対応？ 国立環境研究所福島ガイドブック刊行」）

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

各節ごとに本文中に記載した。

II-2 気候変動適応策の策定に資する脆弱性評価指標の研究

株式会社E-konzal

榎原 友樹・渡邊 学・
越智 雄輝・小川 祐貴

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：32,150千円（研究経費は間接経費を含む）
（平成29年度：10,700千円、平成30年度：10,450千円、令和元年度：11,000千円）

【要旨】

気候変動による影響を最小限に抑えるには、リスクを科学的に捉え、個々の要素に対して適切な対策を行うことが求められる。気候変動による影響のリスクを構成する主要な要素として外力・暴露とともに脆弱性があるとされる。外力・暴露については研究が進む一方、脆弱性については、その指標化や評価が困難であると捉えられてきた。本研究では、まず脆弱性の概念や脆弱性指標の特性について既往研究を基にレビューし整理を図った。その後レビュー結果に基づき、脆弱性指標を特定するスキームを構築し、特定した脆弱性指標を用いて脆弱性を評価する手法を開発し提案を行った。本スキームは適応策立案への貢献が期待できる。

具体的には概念整理・定義付けにあたり、気候変動の適応分野に加えて同様・類似の概念と既往研究について幅広く情報収集し、概念の整理を行った。その後、主たる影響分野ごとに脆弱性指標候補をリスト化し関連情報とともにデータベース化を行った。次にインパクトチェーンの手法を用いて、影響分野ごとに脆弱性を評価するための指標について整理し特定した。最後に、特定した指標を用いて脆弱性の評価を行う脆弱性評価システムを開発した。文献調査や専門家へのヒアリング等を通じて実用性の強化や各脆弱性指標の重要度の推定を図り、日本全国における地域ごとの脆弱性評価を実施可能なフレームワークを確立した。

【キーワード】

脆弱性評価指標、脆弱性評価システム、インパクトチェーン、感受性、適応能力

1. はじめに

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 第五次評価報告書¹⁾では気候変動による影響が今後深刻化し、今世紀末に産業革命以降の気温上昇を2℃程度に安定させたととしても被害増加は避けられず、「適応策」を講じて予想される悪影響に備えることが急務であることが明らかとなった。政府は2015年11月、気候変動の影響への適応計画²⁾を閣議決定し、2018年2月には気候変動適応法案を閣議決定、国内における適応の推進を図っている。気候変動の影響は地域ごとに異なるため、その地域に生じる影響を踏まえ状況に合った適応策を実施していくことが必要とされる。そのため今後は、具体的な適応策の推進役と想定される地方自治体における、適応策の実施が求められている。国内における気候変動の影響や適応策に関する研究は環境省・環境研究総合推進費S-8やS-14、さらに社会実装を念頭においた気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT5) などにより進められている。多様な分野における気候変動の影響や適応策について検討が続けられている。ただし、影響評価やリスク評価の際に、その主な構成要素のうち外力・暴露に焦点をあてており、脆弱性について十分に考慮されていないことが課題となっている。

2. 研究開発目的

自治体やその他地域における適応策の実施者が効果的・効率的に適応策を推進していくためには、その地域においてどのような気候変動影響やリスクが生じたそれらがどの程度であるか、定性定量的に把握した上で、施策を行っていくことが欠かせないと考えられた。その際、これまで十分に考慮出来て

いない脆弱性について、まず概念を整理した上で、それらの指標化を図り、また指標によって地域ごとの評価を行うことで脆弱性の可視化を行うことが求められると判断した。脆弱性を指標化し評価することで、地域がどのような点で弱みを持っているかを把握し適応策を実施する際の優先順位をつけるための参考情報とすることができ、また適応策を実施した際の効果の把握や進捗管理に活用していくことが可能であると考えられた。

本研究では、まず脆弱性の概念や脆弱性指標の特性について幅広く既往文献をレビューの上で概念整理を図り、その後レビュー結果に基づき、脆弱性指標を特定するスキームの構築、特定した脆弱性指標を用いた脆弱性評価手法の開発を行った。脆弱性の評価を行うにあたっては、気候変動影響が生じると想定されている複数の分野を対象とし、また地域比較等も考慮に入れ全都道府県を対象とした。なお、脆弱性指標や脆弱性評価手法については、専門家や地域で適応を推進する自治体担当者等にヒアリングを行い、妥当性や実用性を高めることとした。

3. 研究開発方法

(1) 脆弱性の概念整理

気候変動によるリスクの低減には、気候変動に対する脆弱性の低減が重要であると考えられている。しかし、脆弱性という概念は様々な文脈に使われ、多様な定義が存在する。そこで、まず気候変動に対する「脆弱性」についての概念や定義について整理を行った。気候変動に関する最新の知見を集約したものとして知られるIPCCの評価報告書においても、脆弱性の概念は、第4次³⁾・第5次²⁾の報告書間で大きな変更が試されており、今でも議論が続いている状況であるが、第5次において設定された概念が、現時点の国際的な合意に最も近いものであると判断し、国内でも適用可能な概念であると判断した。本研究では、第5次評価報告書に基づき、下図のとおり脆弱性を、感受性や適応能力からなり、外力・暴露とともに相互作用し合い気候変動によるリスクを生じさせるものと捉えることとした。また、5次評価報告書で提示されている「不可逆的な影響を受ける際の傾向や素因である。感受性や悪い影響の受けやすさ、対処し適応する能力の欠如といった複数の概念や要素を伴う。」との定義を用いることとした。ただし、当該概念及び定義においても、抽象性は依然高く、これらのみでは指標を特定することはできない。そこで、既往研究の調査により、その特性について更なる検討を行い、概念を整理することとした。

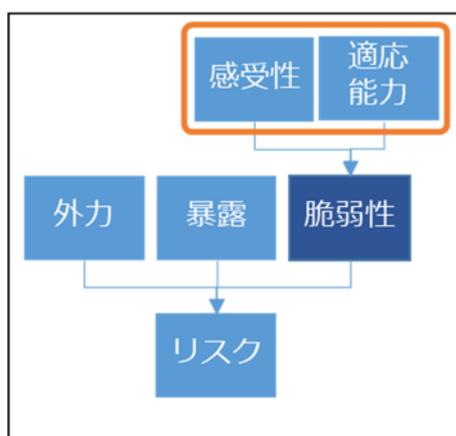


図 3.2.1 IPCC 第5次評価報告書における脆弱性の概念

(2) 脆弱性評価手法の開発

後述する概念整理の結果に基づき本研究では、特定の脆弱性指標を求めるのではなく、まず指標を特定するフローの開発を行い、その後フローに基づき特定した指標によって脆弱性を評価する評価手法を開発した。指標特定のフローは5つのステップで構成され、1から4のステップで「①脆弱性指標候補DB」「②Impact Chain」「③脆弱性指標」「④脆弱性指標データ」の4つの成果物を作成し、最終的に③④を合わせて利用可能なデータを伴った脆弱性指標の抽出を図る。



図 3.2.2 指標特定の5つのフロー

○サブテーマ2の対象分野・対象項目について

上記脆弱性指標の特定フローを用いて指標を抽出するにあたり、研究期間及び対象とする分野・項目の優先度を鑑み、国の適応計画にある56の小項目から、以下の基準に従って選定・集約し、下表の通り20の項目を対象とし、指標特定及びデータ利用の可否について検討を進めることとする。これらの項目において、指標が特定できデータ利用が可能なものについて前述の①～④の成果物を作成することとする。

<選定の基準>

- 重大性が「大きいとは言えない」「評価できない」の場合は対象外とする。
- 緊急性が「低い」「評価できない」の場合は対象外とする。
- 確信度が「低い」「評価できない」の場合は対象外とする。
- 内容が別の項目に包含される場合は対象外とする。
- 同様の指標が想定される複数の項目は統合し、一つの項目とする。
- (上記によって対象外となる場合でも)社会的に重要性が高いと想定される項目は対象とする。
- (上記によって対象となる場合でも)地域別の評価が難しいと想定される項目は対象外とする。

表 3.2.1 脆弱性評価の対象とする20分野

分野	大項目	中項目(研究対象分野)
農業、森林・林業、 水産業	農業	水稲
		果樹
		土地利用型作物
		園芸作物
		畜産
		病害虫・雑草・動物感染症
	森林・林業	農業生産基盤
		山地災害、治山・林道施設
		森林・林業
	水産業	特用林産物
		海面漁業
		海面養殖業
		内水面漁業・養殖業
造成漁場		
その他	漁港・漁村	
	農林水産業従事者の熱中症	
	鳥獣害	
水環境・水資源	水環境	水環境
	水資源	水資源
自然生態系	陸域生態系	陸域生態系
	淡水生態系	淡水生態系
	沿岸生態系	沿岸生態系
	海洋生態系	海洋生態系
	生物季節	生物季節
	分布・個体群の変動	分布・個体群の変動
自然災害・沿岸域	水害	水害(洪水)
	高潮・高波等	高潮・高波等
	土砂災害	土砂災害
	その他	その他(強風等)
健康	暑熱	暑熱
	感染症	節足動物感染症
	その他	その他
産業・経済活動	産業・経済活動	産業・経済活動
	金融・保険	金融・保険
	観光業	観光業
	その他	その他の影響(海外影響等)
国民生活・都市生活	インフラ・ライフライン等	水道、交通等
	文化・歴史などを感じる暮らし	生物季節、伝統行事・地場産業等
	その他	その他(暑熱による生活への影響)

○指標特定フローステップ1：脆弱性指標候補DB（データベース）の開発

幅広く文献等を調査分析、整理する。漏れのないよう網羅的に400以上の指標を収集。既往研究による指標をベースとしつつ、日本に適用可能な代替指標候補を検討。日本の地域ごとの指標データの入手可能性や、影響分野における優先度等も踏まえて、指標として評価可能な脆弱性指標を特定し提案する。

○指標特定フローステップ2：Impact Chainの作成

収集した指標を基に、Impact Chainを作成し、その考え方をを用いて指標を整理する。20分野で、気候変動適応計画の内容を基に、気候変動外力から影響が生じる際に、どのような要素が暴露となり影響を被り、どのような要素が脆弱性となり影響を増幅しうるかを可視化・図示する。

<Impact Chain 利用の経緯>

世界の脆弱性に関する研究を鑑みても、特定された指標は存在しない。重要性によって指標を特定しようとしても、地域環境によって重要性は異なり、一概に特定するロジックは構築が難しい。ドイツ国際協力公社等の提唱する「Impact Chain⁴⁾」は指標を特定し気候変動リスクを評価するための手法とし

て、開発国のドイツに留まらずヨーロッパの他の国でも利用・言及されている。現在企画・検討されている気候変動影響評価に関するISO規格においても現時点で当該手法が組み込まれている。

○指標特定フローステップ3：脆弱性指標の選定

直接の影響から、それを被る暴露を特定し、その後脆弱性指標の特定を行う。脆弱性指標は感受性と適応能力に分け、適応能力はさらに普及啓発と具体的な施策の実施（暴露の特性、制度、システム、人・組織等）に分類し、指標の導出を図る。全ての指標で文献調査を行う。各指標を特定する際はまず直接的に脆弱性を評価できると考えられる脆弱性指標を想定。その上で指標に関するデータが利用できないものについては代替指標を設定する。

○指標特定フローステップ4：脆弱性指標データ収集

選定された脆弱性指標及び代替指標について統計等の公開データより脆弱性指標の関連データを、都道府県毎（可能なものは基礎自治体毎）に収集する。

○指標特定フローステップ5：脆弱性指標の入れ替えの検討

専門家ヒアリングや選定した脆弱性指標について、日本と近い状況にある海外の自治体等の指標と比較すること等により指標の入れ替えを検討し、指標の妥当性を高めた上で、最終的に指標を特定する。

○脆弱性評価手法の開発

海外の脆弱性評価に関する文献の調査、国内の他分野での評価事例の調査を行い、専門家へのヒアリング調査等を行い、評価手法の検討を行う。また、あわせて、各指標の重要度による重み付けについて検討する。その上で、選定した脆弱性指標を用いて分野別、都道府県別に脆弱性評価を行う手法を開発する。

4. 結果及び考察

（1）脆弱性の概念整理

脆弱性についての特性を示すべく、以下のとおり既往研究のレビューを行った。日本の地域の実態に即して脆弱性評価を行うにあたっては、地域の状況や背景に沿って、適応に取り組むことの目的を踏まえて指標を設定する必要があるが、また特定の指標の設定そのものよりも、まず指標抽出のロジックやプロセスの構築を求めるべきであることが明らかとなった。加えて、地域の脆弱性指標を設定するには、地域の状況・背景や地域の適応における目的に合致したものとすることが求められるため、国と地域では指標にすべきものが異なる可能性があり、先進国と途上国の間や分野間でも同様であることを示した。これらの結果に基づき、特定の脆弱性指標を求めるのではなく、まず日本の状況に即した指標を特定するためのフローの開発を行い、その後フローに基づき特定した指標によって脆弱性を評価する評価手法を開発した。

○「脆弱性評価」や適応の評価について

脆弱性の定義としてよく引用されるものは、IPCCの第5次評価報告書¹⁾における定義である。そこでは、脆弱性とは、

➤ 不可逆的な影響を受ける際の傾向や素因である。脆弱性は、感受性や悪い影響の受けやすさ、対処し適応する能力の欠如といった複数の概念や要素を伴う。

とされ、ここでの記述では、あえて複数の概念や要素を伴うことが明示され、脆弱性の概念が複合的なものであることが示唆されている。

2014年に第5次評価報告書が公表された後も、脆弱性の概念についての検討や議論が続けられている。ドイツのgizが適応の評価について纏めたレポート⁵⁾や、UN environmentが適応の評価について纏めたAdaptation Gap Report⁶⁾においても、以下のように述べられている。

- 適応に関連して、計測するといった場合には、物理的な側面よりも、社会的・経済的な側面が求められることが多い。(giz, 2017: Climate Change Policy Brief. Adaptation metrics and the Paris Agreement)
- 結果に基づき適応に関する評価を行うことの目的は、適応策を通じて、適応能力、レジリエンス、脆弱性にどれだけの変化をもたらすことができたかを測定することである。これらの変化は開発の段階や他の分野における政府の施策に基づく意図しない要因等、種々の要因が複雑に作用するものである。適応策単独での作用がどれだけのものかを測定することは難しい課題である。(UN environment, 2017: THE ADAPTATION GAP REPORT, TOWARDS GLOBAL ASSESSMENT, P21)

また、以下各文献では、適応や脆弱性についての評価の難しさについて以下のとおり述べられている。

- 適応に関する複数の次元をとらえることのできる単一の評価手法は存在しない (Srinivasan and Prabhakar, 2009: Measures of Adaptation to Climatic Change and Variability.)
- 適応分野における指標開発とその実践には精査が必要となる。(UNFCCC AR5, 2014, Chapter14, P56)
- 脆弱性とは種々の要素を伴う幅広い概念であり、それを計測する客観的な手法は存在しない。(giz, 2017: Climate Change Policy Brief. Can climate vulnerability and risk be measured through global indices?)

以上の点により、脆弱性や適応の評価の難しさについて以下の2点に纏めることができる。

1. 脆弱性とは、物理的な状態を表すものではなく、社会的・経済的・政治的等種々の要素から形成される複合的な概念である。
2. 対象とする主体や地域の状況・背景によって個別なものであり、単一の基準で測定できるものではない。

○脆弱性指標研究 (Global Indices) について

脆弱性の評価について上記のとおりに言われることが比較的に一般的と思われる一方で、グローバルに利用可能な指標を基に脆弱性を評価し、各国のランキング付け等を行う取り組みは複数行われている。アメリカのノートルダム大学のND-GAIN (Notre Dame Global Adaptation Index) やドイツのGermanwatchのGlobal Climate Risk Index等がよく知られている。ただ、これらの指標研究については、以前から以下のように懸念が示されている。

- 利用可能なデータに基づき指標を設定し、結果を数的に集計することで脆弱性評価を行う取り組みについては強い懸念が示されている。(Eakin and Lucers, 2006: Assessing the vulnerability of social-environmental systems.)

また、gizがこれらの指標による脆弱性や気候変動リスク評価の可能性について纏めたレポートでは、主要な4つの指標の結果が大きく異なり(各国のランキング結果が大きく異なる)、各指標に対して信頼感を持って利用することが難しいことについて言及している。

- ND-GAIN・Global Climate Risk Indexといった複数の指標が開発されているがその結果は指標間で大きく異なり、それらに基づき最も脆弱な国を特定することは不可能である。(giz, 2017: Can climate vulnerability and risk be measured through global indices?)

また、同様にgizは以下のとおり、グローバルなファンドがこれらの指標をファンド配分に活用できていないことや、これらの指標を利用する場合の留意点について以下の通り、述べている。

- 国際的な気候変動に関するファンドが現在利用している指標はアウトプットレベルのものである。何が試されたかを定量化しているが、脆弱性や気候変動リスクの低減が実際に起きたかどうかについては定量化していない。その理由は、適応のアウトカムについては、個々の背景に固有のものであり、単一の方法では正しく評価できないからである。(giz, 2017: Adaptation metrics and the Paris Agreement)

- 指標を利用するのであれば、その手法について理解し、その手法が評価を行おうとする目的に合致しているかを精査することが重要である。(giz, 2017: Can climate vulnerability and risk be measured through global indices?)

以上の点により、脆弱性指標研究については以下の2点に纏めることができると考える。

1. 特定の脆弱性指標を構築しようという研究は複数存在するが、グローバル（例えば世界180カ国）にデータが利用可能な指標が優先され、実際の脆弱性を評価できているとは考えられていない。
2. 脆弱性を評価する目的と指標の考え方や手法が合致しているかの見極めが重要である。

○脆弱性評価の方向性について

脆弱性を評価しようとする際、前述のとおり特定の指標を求めることの難しさがあるため、以下のように指標を特定するよりも指標抽出のプロセスを構築することがあるべき姿であると言及されている。

- 特定の指標を求めるのではなく、幅広い背景に対応できる指標抽出のプロセスを構築するべきである。(Preston et al, 2009: Framing Vulnerability and Adaptive Capacity Assessment.)⁷⁾

また、UN environmentのAdaptation Gap Reportでは、あるべき指標について求める際に必要なこととして、各主体が各主体の適応の目的に即しているかを評価することが重要であると述べている。

- 結果の集約やグローバルなスケーリングの可能性を伴った、適応評価のフレームワークとは、結果を集約することを可能とする一方で、一貫性や各国の背景への適合性についてのトレードオフを低減できるものである。そのために最も必要なことは、適応を行うことの目的に対しての合致性を考慮することである。各主体が各主体の目的に即しているか評価することが重要であり、指標の脆弱性や影響の低減における適切性・十分性・有効性が得点に集約されないことが重要である。(UN environment, 2017: THE ADAPTATION GAP REPORT, TOWARDS GLOBAL ASSESSMENT, P46)⁶⁾

以上3点のレビュー内容に基づき、脆弱性評価及び本研究の方向性について以下の通りに纏めた。

1. 日本の地域の実態に即して脆弱性評価を行うにあたっては、地域の状況や背景に沿って、適応に取り組むことの目的を踏まえて指標を設定する必要がある。また特定の指標の設定そのものよりも、まず指標抽出のロジックやプロセスの構築を求めるべきと考えられる。
2. 地域の脆弱性指標を設定するにあたっては、地域の状況・背景に即し、また地域の適応における目的に合致したものとすることが求められる。これらの点から鑑みると、国と地域では指標にすべきものが異なる可能性があり、先進国と途上国の間や、農業や自然災害といった分野間でも同様に指標とすべきものが異なる可能性がある。
3. 今回の研究では、日本の地域の脆弱性評価について分野ごとに、各状況や背景に即し、そこでの目的に合致する形で評価を行うこととする。

○国別の地域の脆弱性指標の比較

イタリアのビュラス地方と中央アメリカ（グアテマラやニカラグア等）の地域のそれぞれについて、農業分野の脆弱性として挙げられている項目を以下表4.2.1のとおり列挙し比較を行った。特に、ビュラスの適応能力に挙げられている項目は、日本の地域の状況においても適用できる余地がうかがえる一方、中央アメリカの就学率やジェンダー比率は日本の地域において気候変動に対する脆弱性を評価する指標とすることは現状に即していないと判断される。

次に、アメリカの行政区とイタリアのビュラス地方及びインドのバンガロール地方についても、暑熱や都市の分野で脆弱性として挙げられている項目を以下表4.2.2のとおり列挙し比較を行った。ここでも、アメリカやビュラスの脆弱性・適応能力として挙げられている項目は、日本の地域の状況においても一定程度合致していると考えられる一方、バンガロールの感受性として挙げられているスラムの数や、

適応能力として挙げられている上下水道を利用できる世帯の比率は、日本の地域において気候変動に対する脆弱性を評価する指標とすることは現状に即していないと判断される。

上記のとおりここでは、地域の脆弱性は、例えば先進国と途上国として区分して言われるような社会的・経済的等の状況に差異のある国家間では、異なる可能性があることが事例をもって示された。

表 4.2.1 海外の地域の脆弱性についての事例（農業）

対象地域	ビュラス（イタリア）	中央アメリカ
感受性	多年生植物の比率、無農薬農業の比率（病虫害被害の拡大が懸念される場合）、天水栽培の比率、ワイン農家の比率	栽培する穀物の気候変動による影響の受けやすさ
適応能力	農家の所得、農業保険の利用状況、農家の気候変動に対する認知状況、新たな技術導入に対する姿勢	上水道を利用できる世帯の比率、就学率、長期間住居が可能な住宅の所有率、ジェンダー比率、農業用地の比率、技術支援を受けられる農家の比率、道路が舗装されている比率、農業以外の経済規模、労働者比率
参照文献	Adapting to Climate Change in Time: Local Adaptation Plan (Bullas, 2013)	Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies

表 4.2.2 海外の地域の脆弱性についての事例（暑熱・都市）

対象分野	暑熱	暑熱	都市
対象地域	アメリカの行政区	ビュラス（イタリア）	バンガロール（インド）
感受性	独居の高齢者の比率、貧困世帯の比率、子供や幼児の比率、障害者の比率	エアコンの配備率、高齢者比率、屋外でのレジャーやスポーツの実施状況	道路が舗装されている比率、人口密集度、スラムの数、土地利用の変化、幼児の比率、地下水位の変動、湖や湿地の消滅
適応能力	クールスポットへのアクセス、早期警戒システムの配備状況、熱中症対策計画の有無、健康状態の調査の状況、適応に関して知識を持つ人の比率	早期警戒システムの配備状況	金融サービスを利用できる世帯の比率、住居を所有する世帯の比率、資産を所有する世帯の比率、上下水道を利用できる世帯の比率、炊事用燃料を利用できる世帯の比率、道路を利用できる世帯の比率
参照文献	Environmental Health Indicators of Climate Change for the United States: Findings from the State Environmental Health Indicator Collaborative (Paul B et al, 2009)	Adapting to Climate Change in Time: Local Adaptation Plan (Bullas, 2013)	Spatial assessment of climate change vulnerability at city scale: A study in Bangalore, India (Kumar et al. 2016)

（２）脆弱性評価手法の開発

前述の脆弱性についての概念整理に基づき、まず指標を特定するフローの開発を行い、その後フローに基づき特定した指標によって脆弱性を評価する評価手法を開発した。脆弱性指標の特定フローは前述の通り5つのステップにより構成される。当該フローにより、1から4のステップで「①脆弱性指標候補DB」「②Impact Chain」「③脆弱性指標」「④脆弱性指標データ」の4つの成果物を作成し、最終的に③④を合わせて利用可能なデータを伴った脆弱性指標の抽出を行った。

<指標特定フローステップ1：脆弱性指標候補DB（データベース）の開発>

まず、国内外の文献を幅広く調査し、指標候補を収集しデータベース化を行った。その際指標ごとに

以下の複数の要素をデータ項目として入力した。

影響分野（分野・大分類・中分類・小分類）、影響評価結果（重大性・緊急性・確信度）、指標名、感受性/適応能力（Institution/Human/System）、分野共通/それ以外、引用文献、対象地域、国/地域、高所得国/それ以外、ソフト/ハード、関連データの利用可能性、関連データの参照先、その他。

影響分野				影響評価結果			指標名	感受性/適応能力	分野共通	引用文献	国/地域	対象地域	データ種別	ソフト/ハード	関連データの 利用可能性	関連データの 参照先	その他
大分類	中分類	小分類	重大性	緊急性	確信度												
						日本の国内気候変動に関する気候変動適応の状況と課題 (気候大学) [非公開報告]	高感受性			日本	国内	国	ソフト	○	% (脆弱性評価)	気候変動適応計画の進捗状況 (環境省)	
						日本の国内気候変動に関する気候変動適応の状況と課題 (気候大学) [非公開報告]	高感受性			日本	国内	国	ハード	○	% (脆弱性評価)	気候変動適応計画 (環境省)	
						日本の国内気候変動に関する気候変動適応の状況と課題 (気候大学) [非公開報告]	高感受性			日本	国内	国	ソフト	○	% (脆弱性評価)	気候変動適応計画 (環境省)	
						日本の国内気候変動に関する気候変動適応の状況と課題 (気候大学) [非公開報告]	高感受性			日本	国内	国	ソフト	○	% (脆弱性評価)	気候変動適応計画 (環境省)	
						気候変動適応計画の進捗状況 (環境省) 気候変動適応計画の進捗状況 (環境省) (気候大学) [非公開報告]	高感受性			日本	国内	国	ハード	○	% (脆弱性評価)	気候変動適応計画の進捗状況 (環境省)	気候変動適応計画の進捗状況 (環境省) (気候大学) [非公開報告]
						気候変動適応計画の進捗状況 (環境省) (気候大学) [非公開報告]	適応能力	Institution	○		日本	国内	国	ソフト	○	気候変動適応計画プラットフォーム (環境省)	
						気候変動適応計画の進捗状況 (環境省) (気候大学) [非公開報告]	適応能力	Institution			日本	国内	国	ソフト	○	気候変動適応計画プラットフォーム (環境省)	
						気候変動適応計画の進捗状況 (環境省) (気候大学) [非公開報告]	適応能力	Human			日本	国内	国	ソフト	○	気候変動適応計画プラットフォーム (環境省)	
						気候変動適応計画の進捗状況 (環境省) 気候変動適応計画の進捗状況 (環境省) (気候大学) [非公開報告]	適応能力	System			日本	国内	国	ハード	○	気候変動適応計画プラットフォーム (環境省)	気候変動適応計画の進捗状況 (環境省) (気候大学) [非公開報告]
						日本の国内気候変動に関する気候変動適応の状況と課題 (気候大学) [非公開報告]	適応能力	System			日本	国内	国	ハード	×	—	

図 4.2.1 ①脆弱性指標候補 DB

<指標特定フローステップ2: Impact Chainの作成>

収集した指標候補を基に、ドイツの文献等にて提唱される Impact Chain の考え方をを用いて指標を整理した。まず分野ごとに、4つの主な気候変動（気温の上昇、降水量の変化、海面の上昇、気象の極端減少の増加）からどのような直接的な影響が生じるかを検討し、特定した。特定する際には、各分野における適応の目的である、この分野においてどのようなリスクを最小化したいか、どのようなチャンスを最大化したいかを踏まえ、検討した。次に、気候変動適応計画の内容を踏まえて、気候変動外力から影響が生じる際に、どのような要素が暴露となり影響を被り、どのような要素が脆弱性となり影響を増幅するか等を可視化図示した。

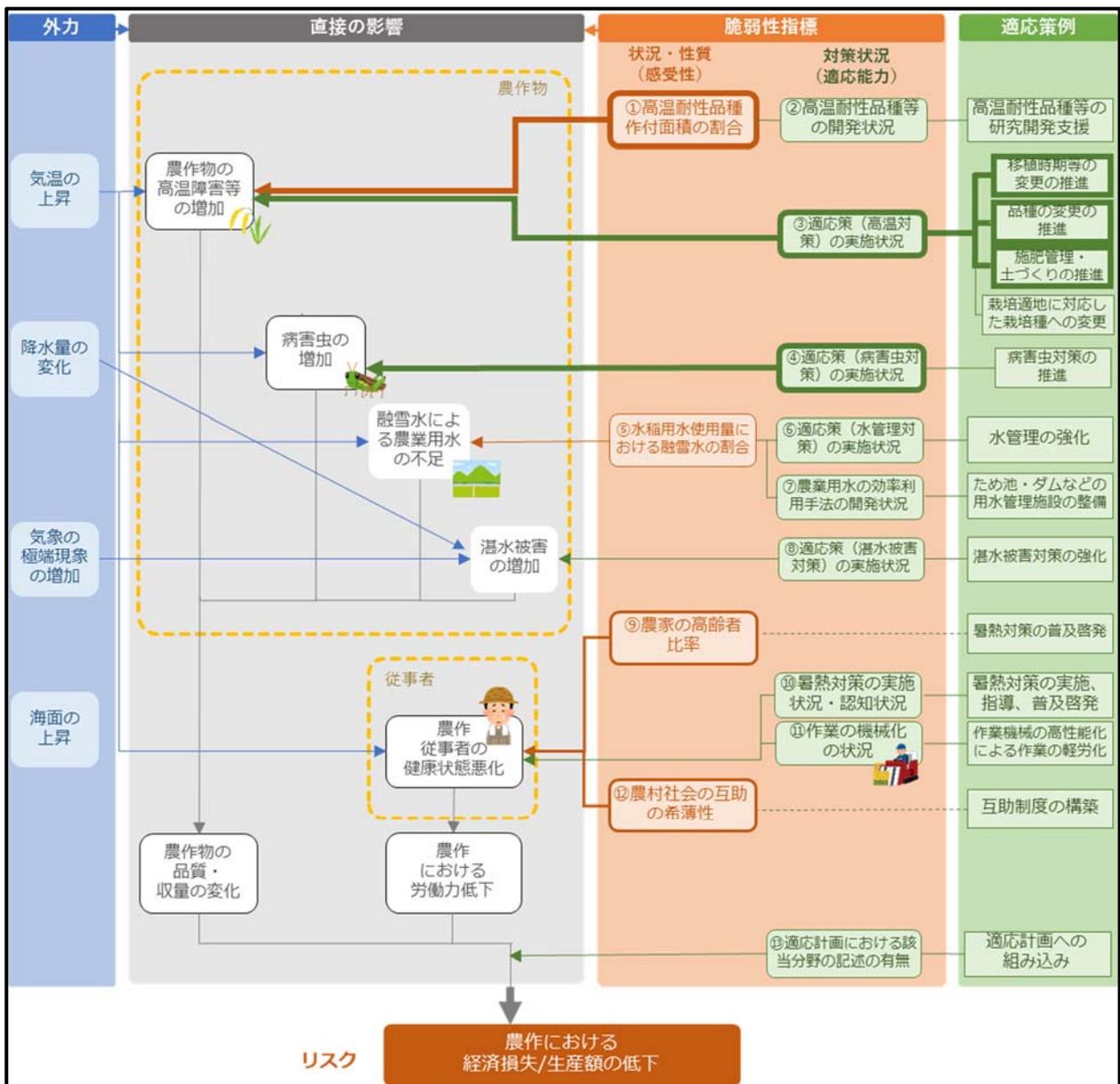


図 4.2.2 ②Impact Chain

＜指標特定フローステップ3：脆弱性指標の選定＞

Impact Chainにて特定した直接の影響から、それを被る暴露を特定し、暴露がこうむる影響の大きさを左右する要素として、脆弱性指標の抽出を行った。脆弱性指標は感受性と適応能力に分け、適応能力はIPCC AR5の定義を基にさらにInstitution（制度）・Human（人・組織）・System（システム）に分類し、指標の選定を図った。指標を選定する際にはまず、直接的に脆弱性を評価できると考えられる脆弱性指標を想定した。後のステップで収集する指標データが利用できないものについては代替指標を設定した。

動向	指標の影響	結果	脆弱性/適応能力	指標の分類	脆弱性指標	脆弱性指標に関するデータの有無	代替指標	代替指標に関するデータの有無	データの所在資料	分野共通	ソフト/ハード	備考		
気候変動による熱中症被害者の増加	気候変動による熱中症被害者の増加	一般市民、労働者等	脆弱性	気候変動の影響による被害の受けやすさに関する事象の特性	高齢者比率	○	-	-	人口統計調査(国勢調査)		ソフト			
					(高齢者の世帯を合併してエアコン利用を促すことが想定される) 低所得世帯比率(総世帯)	○	-	-	20年における郵政の高齢世帯世帯の増加について〜フューチャングラフを中心〜(山形大学 人文学部経済政策学科学習著作)		ソフト			
					エアコン利用の普及	-	ルームエアコン普及率(%)	○	宇都宮県エネルギー戦略1000世帯あたり主要耐久消費財の所有数普及率(%)(国勢調査)		ソフト			
					熱ストレスの強い作業に従事する労働者の比率	-	建設業・製造業に従事する労働者の比率	○	経済センサス集計調査(産業、就業状況)労働者数(就業率)及び従業者数(国勢調査)		ソフト			
					熱ストレスの強いスポーツを行う者の比率	-	中・高・大におけるクラブ活動におけるスポーツ従事者の比率	-			ソフト	資料的・統計的データの不足が不明。		
				適応能力	Institution(制度)	適応計画における脆弱性評価の有無	○	-	-	気候変動適応情報プラットフォーム(国の情報研究用)	○	ソフト		
						市民に対して熱中症対策(熱中症による注意喚起、広報・イベント等)での注意喚起、熱中症対策の物品配布、避難場所の設置等)の普及	-	地域において行われる熱中症対策の有無	○	熱中症対策の取り組み事例の提供一覧(厚労省)		ソフト	https://www.mhlw.go.jp/f/h06/06/Sesakupuhou-3060000-Kenshoukyoku/stram.pdf	
						熱中症対策についての認知状況	-	-	-	-	アンケート調査により認知割合を算出する方法が考えられる。普及啓発用の資料作成の有無で代替することが考えられる。	ソフト		
					System(システム)	最悪時の警戒情報システムの運用状況	-	-	-	-			ハード	最悪警戒時の有無について、自治体ごとに異なる方法が考えられる。
						気象情報の収集状況(住民10万人当たりの観測所の数)	○	-	-	-	気象観測報告(厚労省)		ハード	

図 4.2.3 ③脆弱性指標

<指標特定フローステップ4：脆弱性指標データ収集>

各脆弱性指標のデータを収集した。その際、指標に関するデータが利用できないものについては代替指標を設定し、代替指標のデータを収集した。

分野	暑熱							
分類	熱中症							
分類におけるメカニズム	確信度高い							
指標の性格	脆弱性指標							
指標	高齢化比率	(エアコン利用の手控えが懸念される)低所得世帯比率→貧困率(%)	エアコン(冷房)の所有世帯比率→ルームエアコン普及率(%)	建設業・製造業に従事する労働者の比率	適応計画における該当分野の記述の有無	地域において行われる熱中症対策の取組みの有無	救急病院の設備状況(住民10万人当たりの救急病院の数)	脆弱性評価(脆弱順位)
指標の単位	都道府県単位	都道府県単位	都道府県単位	都道府県単位	都道府県単位	都道府県単位	都道府県単位	10以内の項目の数
指標の傾向	大きいほど脆弱	大きいほど脆弱	小さいほど脆弱	大きいほど脆弱	小さいほど脆弱	小さいほど脆弱	小さいほど脆弱	
北海道	29.9%	17.5	25.7	16.7%	0	12	7.9	2
青森県	31.0%	18.9	51.6	20.9%	0	2	4.2	3
岩手県	31.2%	16.4	57.2	25.4%	1	16	4.4	2
宮城県	26.4%	15.1	69.3	20.8%	0	4	3.6	2
秋田県	34.8%	17.2	72.3	24.0%	1	2	2.9	3
山形県	31.5%	13.1	74.9	29.4%	1	8	3.9	3
福島県	29.5%	13.7	68.9	28.9%	1	9	4.2	1
茨城県	27.6%	10.9	89.5	29.0%	1	17	4.3	1
栃木県	26.7%	11.2	89.5	29.7%	1	15	3.4	1
群馬県	28.4%	12.9	87.2	30.3%	1	1	5.2	2
埼玉県	25.5%	10.4	92.3	24.2%	1	2	2.8	1

図 4.2.4 ④脆弱性指標データ

結果として、統計等の公開データより約150指標のデータを都道府県毎に収集した。下表の通り分野ごとにそれぞれの数のデータを収集した。

表4.2.3 対象分野ごとに収集されたデータの数

合計		146
 農・森・林・水産業	水稻	10
	果樹	7
	土地利用型作物	8
	畜産	6
	森林・林業	7
	海面漁業	6
	漁港・漁村	4
 水環境・水資源	水環境	4
	水資源	7
 自然生態系	陸域生態系	8
	沿岸生態系	6
 自然災害・沿岸域	洪水	10
	高潮・高波	10
	土砂災害	9
	その他（強風等）	7
 健康	熱中症	11
	節足動物感染症	7
 産業・経済活動	観光	5
 国民生活・都市生活	ヒートアイランド	6
	水道・交通	8

<指標特定フローステップ5：脆弱性指標の入れ替えの検討>

最後に、専門家ヒアリングや特定した脆弱性指標について日本と近い状況にある海外の地域等の指標と比較すること等により指標の入れ替えを検討し、指標の妥当性を高めた上で、指標を特定した。指標の入れ替えを行う場合には、ステップ4に戻り、再度指標データを収集した。

○脆弱性評価

前述の脆弱性指標特定のフローにより得られた脆弱性指標を用いて、以下のとおり、分野ごとに脆弱性評価を行った。分野ごとに、各指標を原則として正規化を行い、0～1で脆弱性の評価を行った。その上で、各指標に基づく正規化後の値を足し合わせ、分野ごとの脆弱性評価を行った。

(水稲)

0.6 脆弱性度合いの分野平均値

脆弱性指標(代替指標)	〇〇県の脆弱度合い	重みづけ	適応策例	参照データ	〇〇県の値
① 高温耐性品種の作付面積の割合 (水稲作付面積における高温耐性品種作付面積の割合)	1.0	1	高温耐性品種等の研究開発支援	水稲の品種別作付動向について(公益社団法人米穀安定供給確保支援機構)	0.0%
② 高温耐性品種等の開発状況 —水稲の高温耐性品種開発に取り組み研究機関の有無	1.0	1		高温耐性対策レポート(農林水産省)	0件
③ 適応策(高温対策)の実施状況 —地域における水稲の適応策(水管理以外)実施に関する記録の有無	0.7	1	移植時期等の変更の推進、品種の変更の推進、施設管理・土づくりの推進	地球温暖化影響調査レポート(農林水産省)	1件
④ 適応策(病害虫対策)の実施状況			病害虫対策の推進		
⑤ 水稲用水使用量における節水の割合			水管理の強化		
⑥ 適応策(水管理対策)の実施状況 —地域における水稲の適応策(水管理対策)実施に関する記録の有無	0.5	1		地球温暖化影響調査レポート(農林水産省)	1件
⑦ 農業用水の効率利用手法の開発状況 —農業用水関係事業の都道府県別予算額	1.0	1	ため池・ダム等の水管理施設の整備	平成29年度当初予算に係る公共事業の箇所別予算額について(農林水産省)	0億円
⑧ 適応策(漏水被害対策)の実施状況			漏水被害対策の強化		
⑨ 農家の高齢者比率	0.5	1	暑熱対策の普及啓発	農業構造動向調査結果の年齢別農業従事者数(農林水産省)	49.1%
⑩ 暑熱対策の実施状況・認知状況 —地域において行われる暑熱対策の取組みの有無	0.9	1	暑熱対策の実施、指導、普及啓発	暑中・盛夏対策の取組み事例の提供一覧(厚生労働省)	20件
⑪ 作業の機械化の状況 —農業用機械(水稲)を所有している経営体数の割合	0.1	1	作業機械の高性能化による作業の軽労化	2015年農林業センサス農林業経営体調査報告書—農業経営部門別編—(農林水産省)	82.1%
⑫ 農村社会の互助の希薄性 —ソーシャルキャピタル統合指数	0.9	1	互助制度の構築	ソーシャル・キャピタルの豊かさを生かした地域活性化(滋賀大学・水産府経済社会総合研究所共同研究)	18.6%
⑬ 適応計画における該当分野の記述の有無	0.0	1	適応計画への組み込み	気候変動適応情報プラットフォーム(国立環境研究所)	有
独自の指標					
独自の指標					

「〇〇道府県」との比較を0～1で表現。数値が高いほど脆弱

図4.2.5 脆弱性評価(水稲分野の事例)

全都道府県において20分野で上記の脆弱性評価を行った結果が下表となる。

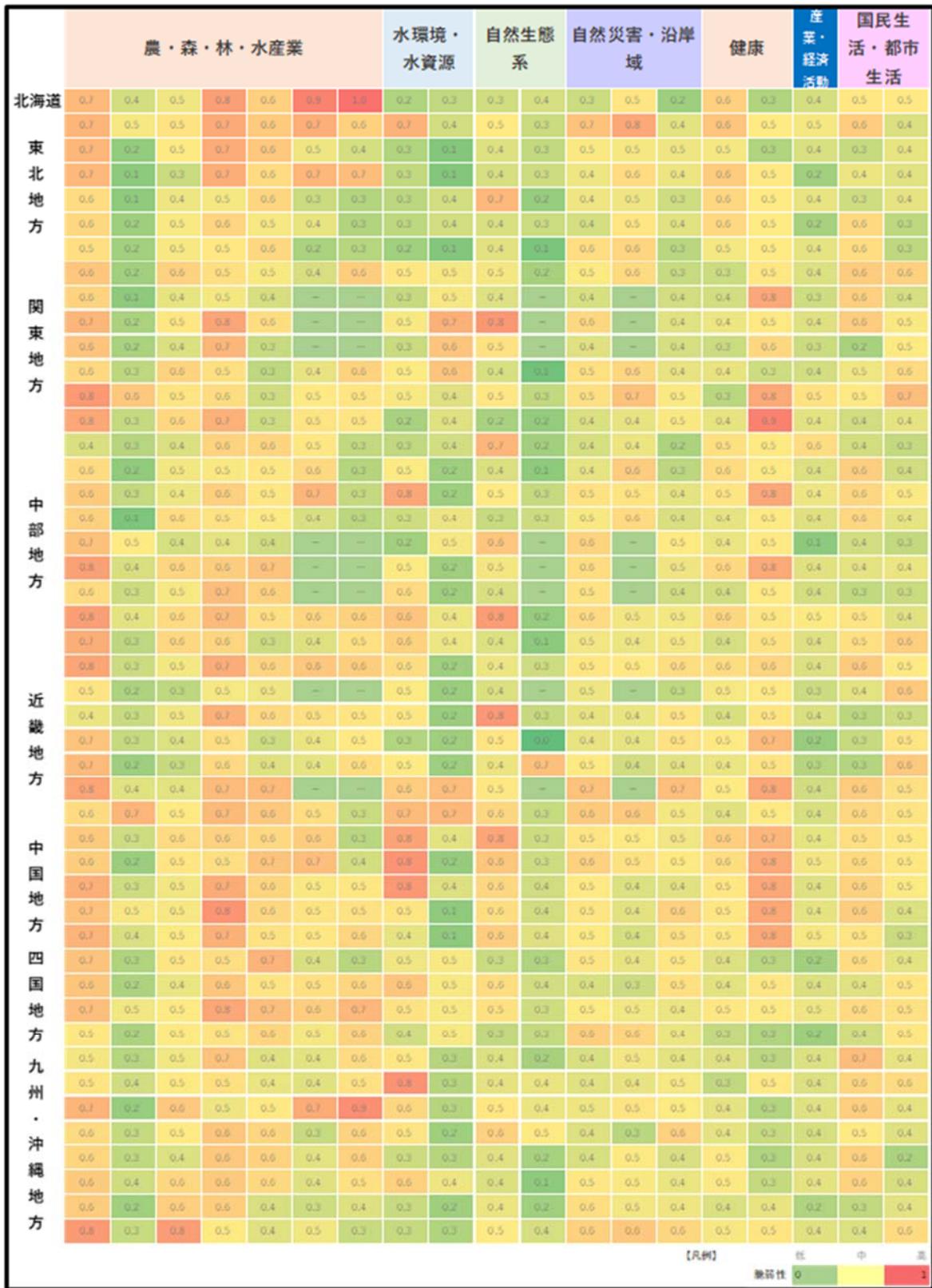


図4.2.6 全都道府県の脆弱性評価結果

○各脆弱性指標の重要度の推定について

海外の脆弱性評価に関する文献の調査、国内の他分野での評価事例を調査し、指標の重要度をどのように推定するかについて検討した。脆弱性の概念整理を行った際にも同様であったが、推奨される特定の手法等は確認できなかった。本研究では、指標ごとに既往文献で評価されているもの、定性的に言及されているもの、それ以外と言う形で、科学的な文脈の中での確からしさを指標ごとの重要度として提

案した。一方、既往文献では重みをつけずに評価を行う事例が確認されたことを踏まえ⁸⁾、後述する脆弱性評価システムにおいては、指標を正規化し、重みを付けず0～1の数値で評価を行うこともできるようにした。

○専門家や自治体等に対するヒアリングの実施

脆弱性指標の選定フロー、指標に基づく脆弱性評価手法、分野ごとの脆弱性指標、脆弱性評価手法の活用の可能性等につき、ヒアリングを行い、その内容に基づき手法等についての改善を図った。実施したヒアリング結果は以下の通り。

(i) Eurac Research地球観測部門長 Dr. Marc Zebisch

<リスクアセスメント全般について>

- ヨーロッパの Climate Risk Assessment for Ecosystem - based Adaptation という文献で気候リスクの評価を行っており、参考にすべきだが、各国や地域の実態に合わせる形で状況に即した形の評価を行うことも重要である。
- 指標の使用は、メリットもあるがデメリットもある。指標により状態の可視化を行うことができる一方、そこで捉えきれない情報も存在する。その為に、定性的な状況の記述や Narrative に基づく評価も必要となる。
- 将来の評価を行う場合には、脆弱性についてのシナリオが必要となる。ドイツでは、人口や収入等複数のシナリオを用いて気候変動影響の将来予測に活用している。
- インパクトチェーンを作成し、指標と特定し、脆弱性評価を行う試みは良い。ただ、地域でインパクトチェーンの作成や指標の選定を行う場合には、最新の科学的な知見と乖離する可能性が生じる為、それらを構築した後、既存文献等を用いて妥当性を評価するステップが効果的であると考えられる。
- 地域での脆弱性評価には、様々なステークホルダーが関わるべきである。どのようなステークホルダーが関わるかの選定も重要である。
- 特に脆弱性評価を行う際には、評価した内容に沿って実行を行う責任を負う人たちを必ず入れておくことが望ましい。そのようなステークホルダーを巻き込むことの利点として、脆弱性評価を行う際に、例えば水道部局の人は、どこに灌漑施設があり、どれの改修が必要なのか等の情報・データを持っているため、評価をより具体的に行える可能性が高まる。

<脆弱性指標>

- 指標に基づく脆弱性評価の目的
 - ・脆弱性 (vulnerability) を軽減すること。(森林荒廃破壊という脆弱性の要因の改善案として reforestation を、湿地減少の解決策として湿地保全をメモする)
 - ・指標を使うことで、比較をしやすくする。(様々な地域、時間軸で同等に比較をおこなうため)
- 必要な指標の数については、プロジェクト規模によって変わり、特定できるものではないが、少なくとも、一つの重要な aspect (中間的影響、湿地減少) に対して、最低 1 個の指標が求められる。また、アセスメント作成後に、どの指標が重要かなどを現地の人 (専門家) に聞く、もしくは投票を行うことが望ましい。

(ii) 立命館大学 政策科学部 中野准教授

- 暑熱分野における脆弱性指標を特定するにあたっては、熱中症で搬送された人数と逆に搬送されなかった人数があり、何がそれを分けたのかを考えることがヒントとなる。
- 脆弱性指標は自治体にとっての KPI となるようなものが望ましい。
- 平均気温が上がると、特に夏場は子どもが外で遊べない日が増えてくると考えられ、それに伴い QOL が低下すると考えられる。この点は、主要 7 分野のうち国民生活の分野の課題となると考えられる。
- QOL の評価にあたってはアンケートや、気温上昇と公園で遊ぶ子どもの人数をカウントすることも考えられる。
- 指標の重み付けに Multi Criteria Analysis の一つとされる AHP 法の活用を検討しているというこ

とであるが、脆弱性指標のようなものを対象とする際には適切ではないと考える。AHP はある課題に対して複数の対応方法があり、それらを評価する場合に複数の観点と考えられる際に、単純な定量化が難しい評価者の経験や嗜好を評価に反映させるものである。脆弱性指標のような本来指標間の重要性に差があると想定できるような場合は、それらをデータの解析等に基づき検討していくことが第一義であると考えられる。

- 企業のサプライチェーンに対して気候変動がどのようにリスクを生じさせるかといった観点に興味があり、研究を実施している。
- 指標の特定や重み付けについては、何かしらデータに基づいて定量的な評価ができると良い。例えば、都道府県別に被害発生割合をみて、既往の適応策の貢献度合いを評価していくことはできないか。
- 消防庁が提供している熱中症による搬送者数のデータがあるが、それらは元々搬送者毎に個票ベースの記録が作成されているはずである。個票ベースのデータが取得できれば、そこから搬送者の属性を使って何らかの解析ができるのではないかと考える。何らかのデータを取得して解析することを検討できないか。

(iii) 滋賀県琵琶湖環境部温暖化対策課 廣田主査

- 気候変動影響や脆弱性の関係図は、因果関係がわかるのでわかりやすいと考えるが、脆弱性指標に関してはもう少し精査が必要と考える。
- 地域でワークショップ等を行うことを考えると、少し内容が専門的であり伝え方を工夫することが必要であるし、冊子形式にして多くの情報量の中から自分の知りたい分野の関係図を探すのは困難と思われるので、例えばカード形式にして、探しやすくする等の配慮が必要ではないか。

(iv) 京都府地球温暖化防止活動推進センター 川手事務局次長

＜インパクトチェーンや脆弱性指標、影響の受けやすさカルテ全般について＞

- 脆弱度合いの意味が分かりにくい、全国的な順位的なものだと理解するが、後方に記載している計算手法等の記述の説明が先であれば分かりやすい。
- 例えば、水稻の○と○は同じ2件なのに脆弱性評価が違うのは、最大値が違うのだろうと推察するが、最大値がどれぐらいなのかがあると理解しやすいのではないか。
- この指標から、数値が高い（脆弱性が高い）とされた分野や脆弱性が分かるが、ではどの分野で何ができるのかの情報をつなげてもらえるとよりよいと考える。脆弱性が低いとされた自治体の情報や、ベストプラクティス等。
- 絶対値という表現も分かりにくい。○○県のデータ等と表現してはどうか。

＜インパクトチェーン作成などのワークショップについて＞

- 現在、適応ワークショップとして開催されるものでも、影響に関するWSに留まり、脆弱性や適応まで踏み込めていないものが多い。インパクトチェーンのワークショップは、その点、脆弱性・適応策まで考えが及ぶので、良いのではないか。
- ワークショップを行うのは、適応センター等に研究者、ステークホルダーが参加して行うのが良いのではないか。市民だけでも、議論が深まらない。ステークホルダーの中でも、農家など影響が既に起こっておりそれに対応する形で適応策を行っているが適応策とは自身は捉えていない場合もあるだろう。ステークホルダーにも入っていただき、適応策の理解を深めて、実行につながるとよい。
- 地域の専門家（各部署や、气象台、試験場等）も、もっと指標を持っていると思うので、一緒にWSを行うとよい。
- 適応は部署横断で取り組まなければならないが、現在、縦割りで行われがちである。WSでは、各部署が協働で検討できてよいツールになるのではないか。

(v) 大日本コンサルタント株式会社 インフラ技術研究所 森田主幹

＜地域において適応を推進するために、脆弱性を評価することの効果について＞

- 効果的であると思います。気候変動への適応に対して地方自治体に対応できることは、脆弱性の克服と曝露の低減です。このうち、曝露の低減は都市構造、社会構造、産業構造に対してインパクトが大きすぎるため、脆弱性の克服が取り組みの根幹になると思います。
- そのため、各自治体の脆弱性の現状を把握し、評価することは重要と考えます。

＜脆弱性の要素を特定する際にインパクトチェーンを使用することのメリットやデメリット＞

- メリットとしては、最終的なリスクと各脆弱性指標との因果関係が明示されること、リスクに対する影響要因が分解されることで対策が検討しやすくなることになると思います。
- ただし、このメリットは各地域が専門家の下でそれぞれ自主的にインパクトチェーンを（WS等により）作成する場合に限られます。全国一律で分野別のインパクトチェーンを使用してしまうと、地域固有の課題や特徴が考慮されないリスクがあると考えます。
- デメリットについては特になくはないと考えていますが、例えば農業分野などは同じ地域でも作物によって様々な状況かと思えますし、水環境も管理河川や湖沼の状況によって問題は様々です。これらを個別に考えるのか、まとめてインパクトチェーンを作成することで問題があるのか、少し慎重な検討が必要かと思えます。

＜脆弱性カルテを使って地域で脆弱性を評価し適応を推進しようとする場合のメリットやデメリット＞

- 指標化できる要因を特定し評価することには大きなメリットがありますが、一方で比較参照すべき水準値がないと、それが良いのか悪いのか判別できません。
- デメリットとしては、他都市との比較できるようになっていますが、脆弱性のみを取り上げて比較することにはあまり意味がなく、自治体に対して誤ったメッセージとならないかが懸念されます。

＜分野ごとのインパクトチェーンや脆弱性指標について＞

- 全体の話ですが、現在は正規化したうえで合算・統合し都市間の比較を可能としています。これにはあまり意味がない上に自治体に誤ったメッセージを送る可能性があります。自治体に応じて外力や曝露量が違えば、各脆弱性に対する重要度も変わってきます。
- 評価の解像度はよく検討する必要があります。自治体単位での評価結果は、実際の計画策定段階ではあまり意味がなく、より細かな地域ごとの評価が必要かと考えます。
- 全体として、Input（予算や能力）、Output（実施量）、Outcome（結果）の指標が混在しており、計画策定時にはこれらをどのように解釈すべきか、少し難しい点があります。感受性／適応能力のほか、自治体の施策検討・KPI設定に対応した分類があると活用しやすいです。
- 個別分野の指標はおおむね全国共通で脆弱性となりうる指標、という理解をしていますが、地域ごとで活用するには各地域固有の指標を取り上げることが必須だと思います。

＜地域で適応を進めようとする際の難しさについて＞

- 適応の場合、環境部局のみで対応できる施策はほとんどないため、全庁にわたっての対応が必要となります。そのため、計画づくりだけでなく、体制作りからコンサルタントや専門家が支援できる仕組みが必要かと思えます。
- データに基づき、政策検討を行うことが日本の自治体は苦手であり、脆弱性をはじめとした分析を行っても試作に結び付かないことがあります。自治体職員のリテラシー向上に向けた取組みを計画策定に盛り込む必要があります。

○脆弱性評価システムの開発

上記の研究の成果を纏める形で、脆弱性評価システムの開発を行った。脆弱性評価システムを用いることで、ユーザーは地域ごとに地域環境に即した形で、指標を特定し、特定した指標に基づき脆弱性を評価することができる。また、脆弱性評価システムには、脆弱性評価結果を、視認性の高い形で関連情報と併せてアウトプットとして提供できる機能を組み込んだ。このアウトプットには、脆弱性について

の解説、影響発生メカニズム (impact chain)、脆弱性評価・指標、対応する適応策、暴露、外力を組み込み、都道府県毎の「脆弱性カルテ」と名付け一つ資料として提供できるものとした。

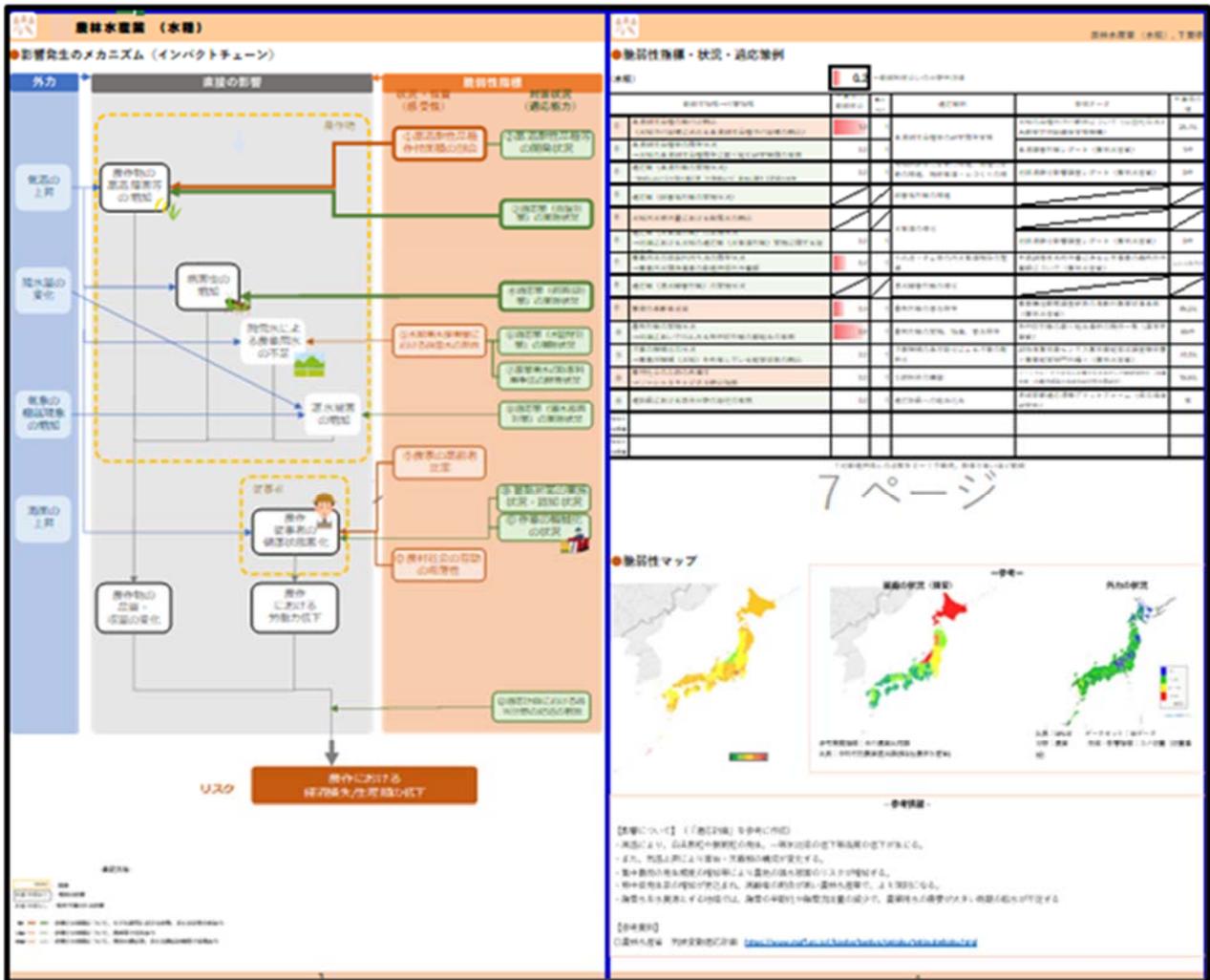


図4.2.7 脆弱性カルテ (水稲分野の事例)

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、まず気候変動の脆弱性についての概念定義について整理した。その結果、現時点の国際的な合意に最も近い IPCC の第五次評価報告書に用いられているものが一般性を有しており、国内でも適用可能な概念であることを示した。脆弱性の特性についての既往研究レビューにより、日本の地域の実態に応じて脆弱性評価を行うには、地域の状況や背景に沿って、適応に取り組むことの目的を踏まえて指標を設定する必要があることを示した。さらに、特定の指標の設定そのものよりも、まず指標抽出の基準やプロセスの構築を求めるべきであることも示した。加えて、脆弱性指標とすべき点について、社会的・経済的等の状況に差異のある場合、異なる可能性があることを事例により示した。上記レビュー結果を基に、脆弱性指標を特定するスキームを構築し、特定した脆弱性指標を用いて脆弱性を評価する手法を開発し提案を行った。

これらの成果により、影響評価やリスク評価の際に、脆弱性を要素として組み込んだ分析や、脆弱性を低減させるための適応策の在り方の検討等を支援できるものと想定する。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究では、自治体が各地域の脆弱性を地域の実態に合わせて評価する手法を構築した。自治体が地域の実態に合わせた脆弱性評価を行うことで、状況に沿った適応策の立案・実践に繋がることが期待できる。また、適応の実践と脆弱性評価を繰り返していくことで、指標に基づいた進捗管理を行うことができるかと想定する。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 渡邊学, 榎原友樹, 脇岡靖明, 大場真, 戸川卓哉, ロナルド カネーロ エストケ, 永井克治, 環境情報科学 学術論文集, 32, 61-66 (2018)
気候変動に対する脆弱性についての概念整理とそれにもとづく指標特定スキーム.
- 2) 大場 真, 戸川卓哉, 渡邊 学, 榎原友樹, 環境情報科学 学術論文集, 33, 295-300 (2019)
気候変動に対する地域適応策のための脆弱性・リスク評価手法の開発: 地域レベル解像度-可視化システムと気候リスクコミュニケーション.

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 越智雄輝・渡邊学・榎原友樹, AIM International Workshop(2017)
Development of Assessment tools to support climate change mitigation and adaptation actions of local governments
- 2) Watanabe M., Hijioka Y., Ohba M., Estoque R., Ehara T., Adaptation Futures 2018 (2018)
Development of Assessment Method on Regional Vulnerability regarding to Climate Change and its impacts.
- 3) Hijioka Y., Watanabe M., Fukumura Y., Oka K., Adaptation Futures 2018 (2018)
A study on guidelines for local adaptation planning to develop a standard for local governments and communities- And developing ISO/TS 14092
- 4) Oka K., Hijioka Y., Fukumura Y., Watanabe M., Adaptation Futures 2018 (2018)
Process for creating A-PLAT: A website to facilitate implementation of the National Adaptation Plan in Japan.
- 5) Manabu WATANABE, Tomoki EHARA, Yasuaki HIJIOKA, Makoto OBA, Takuya TOGAWA, Ronald Canero ESTOQUE, Katuji NAGAI, Midori KITAHASHI, The fourth European Climate Change Adaptation conference (Lisbon) (2019)
Development of Assessment System on Regional Vulnerability regarding to Climate Change and its impacts
- 6) Yasuaki HIJIOKA, Yoshimi FUKUMURA, Manabu WATANABE, Kazutaka OKA, The fourth European Climate Change Adaptation conference (Lisbon) (2019)
A way to standardize local adaptation planning - Approach Through ISO Adaptation Framework
- 7) 【予定】 Manabu WATANABE, Tomoki EHARA, Yasuaki HIJIOKA, Makoto OBA, Takuya TOGAWA, Ronald Canero ESTOQUE, Akira Yoshioka, Katuji NAGAI, Midori KITAHASHI, Adaptation Futures 2020

(2020)

Development of Assessment method on Regional Vulnerability regarding to Climate Change and its impacts

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 気候変動への適応計画 (2015).
- 2) Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). IPCC Fifth Assessment Report.
- 3) Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). IPCC Fourth Assessment Report.
- 4) giz (2014). The Vulnerability Sourcebook
- 5) giz (2017). Climate Change Policy Brief. Adaptation metrics and the Paris Agreement.
- 6) UNEP (2017). The Adaptation Gap Report 2017. United Nations Environment Program (UNEP)
- 7) Preston et al (2009). Framing Vulnerability and Adaptive Capacity Assessment.
- 8) giz (2018). Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation -A guidebook for planners and practitioners-.

III. 英文Abstract

Development of pluralistic evaluation system of vulnerability to climate change for local environmental planning

Principal Investigator: Makoto Ooba

Institution: National Institute for Environmental Studies
(NIES)

10-2 Fukasaku, Miharu, Tamura District, Fukushima,
963-7700, Japan

Tel: +81-247-61-6574

E-mail: ooba.makoto@nies.go.jp

Cooperated by: E-konzal

[Abstract]

Key Words: Vulnerability assessment index, Vulnerability assessment system, Regional future estimation, Regional adaptation planning, Subjective pluralistic evaluation, Vulnerability visualization, Development of participatory method, Impact chain, Sensitivity, Adaptability

The impacts of climate change on local eco and social systems are diverse due to the characteristic of local geography, industrial activities, and so on including their vulnerabilities. Climate risks must be understood from multiple perspectives and there is an urgent need to efficiently draft and implement local climate change adaptation plans. This research was conducted to address these local needs in Japan.

Vulpes II (Vulnerability Pluralistic Evaluation System) was developed in Sub-Theme 1 to visualize and assess local vulnerabilities to climate change and climate risk. We estimate the population, production by each industry, number of employees, and changes in land use in 2050 for Tohoku based on 4 scenarios. Distribution of avian species was predicted and a water quality model was developed based on predictions of future climate change and changes in land use. And we have developed an integrated multiple perspective method for assessing climate change impacts on communities from the viewpoint of quality of life. We developed Vulpes II for visualizing vulnerabilities etc. using a GIS system with a newly developed logic engine that computationally infers climate change vulnerability and climate risk. The results were compared with the results from the national scale vulnerability assessment system (Vulpes I) to analyze the impacts of geographic scale on vulnerability concepts.

The Vulpes I system was developed for visualizing vulnerability and climate risk at the prefectural level in Sub-Theme 2. The impact chain concept for qualitatively handling the chains of climate change impacts was adopted. The impact chains were created based on the details of climate change adaptation plans in 20 fields such as agriculture, natural disaster, etc. For each vulnerability shown by the impact chains, over 400 vulnerability indicators

were selected that could be applied throughout Japan. The indicators were broadly divided by susceptibility and adaptive capacity. For the impact chains and indicators interviews with experts and comparisons with indicators used internationally by local governments etc. The improvements in the validity of the indicators raised the precision of the indicators.

The outputs of Vulpes will be provided for developing adaptation measures. For an example, a risk assessment workshop was conducted primarily involving the staff from regional climate change adaptation centers and local government environmental policy related units to provide the results described above as a method for drafting local adaptation plans. The results of the project have made it possible to provide materials, seminar lecturers, workshop facilitators, etc.