

1. 脆弱性概念を具体化した温暖化影響・ 適応指標の開発

白井 信雄^{1*}・梶井 公美子²・小河 誠¹・田中 充¹

¹法政大学 地域研究センター（〒102-8160東京都千代田区富士見2-17-1）

²パシフィックコンサルタンツ株式会社 環境・エネルギー技術本部（〒206-8550 東京都多摩市関戸一丁目7番地5）

* E-mail: nobuo.shirai.33@hosei.ac.jp

温暖化の影響把握から適応策の立案・進行管理に利用する指標の開発が必要である。本研究では、現在及び短期的な温暖化影響の評価、長期的な温暖化影響リスクの評価、温暖化影響適応策の計画・実施・進行管理に対応する指標の体系を設定した。特に、長期的な温暖化影響リスクの評価においては、影響の将来予測値だけでなく、脆弱性を把握する指標が重要である。脆弱性は、気候変動の外力、影響への感受性、適応能力の3つの要素で構成される。

本研究では、手始めに農業分野における指標を具体化した。今後はあらゆる影響分野での指標を具体化し、それを活用した適応策検討の試行と適応策の検討手順のガイドライン化を進める予定である。

Key Words: adaptation to climate change, indices, vulnerability, sensivity, adaptability

1. はじめに

地球温暖化の影響の将来予測に関する研究が、環境省環境研究総合推進費「S-8研究温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」（以下、S-8研究）や文部科学省「気候変動適応研究推進プログラム」によって進められている。この研究は平成17年度から21年度に実施された「S-4 温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究」（以下、S-4研究）¹⁾を継承している。

S-4研究では、2050年頃（あるいは21世紀末）までを対象として、水資源、森林、農業、沿岸防災、健康といった主要な分野における日本への温暖化影響予測を行い、比較的低い気温上昇で厳しい影響が現れること、影響は地域毎に異なり、分野毎に特に脆弱な地域があることを明らかにした。S-8研究では、影響予測の精緻化と予測結果を用いた適応策の実装化を目指した研究を進めている。

さて、適応策のステイクホルダー（影響を受け、適応策を実施する主体）は地元農家や中小の地場産業、地域住民等である。地域の主体の身近に存在する地方公共団体が、地域の主体と連携しながら適応策の推進を担うことが期待される。つまり、適応策の実装においては、s-8等の国レベルの研究成果を活用するとともに、「温暖化影響の地域多様性」、「ステイクホルダ

一の地域密着性」、「地域レベルのきめ細かな温暖化影響対策の必要性」という観点から、地方公共団体の関与と主導が不可欠である。

一方、地方公共団体による適応策の検討状況をみると、地球温暖化対策条例で適応策を位置づけている地方自治体は3団体に過ぎなく、計画的な適応策に着手している自治体も同程度の実施状況となっている（平成23年4月時点）。法政大学が全国の都道府県・政令市等を対象に実施したアンケート調査では、温暖化影響の予測や適応策の計画に取り組んでいる団体は2~3割と回答された。しかし、具体的な適応策は、農業分野等で限定的に実施されているに過ぎない。

地方公共団体における適応策の検討の阻害要因として、法政大学が実施したヒアリング調査では、「施策実施に必要な情報が不十分」、「施策立案・実施等のノウハウが不十分」等が回答された。適応策の普及のためには、検討に必要な情報の整備・提供や検討手順の具体化等が必要となっている。

2. 研究の目的と方法

(1) 研究の目的

本研究では、地域レベルでの地球温暖化の影響把握と適応策の実装化を進めるため、影響把握から適応策

の立案・進行管理に資するツールとしての指標を開発することを目的とする。

ここでいう指標は、観測されたデータそのものではなく、地域特性の分析やあるべき適応策の抽出等に使用することを前提にして、比較や分析が可能なように換算あるいは集約・抽出された定量的な数値あるいは定性的な尺度をいう。

(2) 研究の方法

一般に、指標の開発においては、指標の使い方（利用目的、利用場面、利用方法等）を設定したうえで、あるべき指標を整理し、あるべき指標に相当する観測されたデータを抽出・整理するという手順が考えられる。本研究で目指す検討手順以下に示す。本報告は下記のc)までの一部の検討結果を示すものである。

- 温暖化影響の構造を体系化し、影響及び適応策を捉える側面の全体像を捉える。
- 地域における温暖化影響の把握、適応策検討の手順を設定し、手順の各ステップに対応して、必要とされる指標概念を定義し、指標の全体体系を設定する。
- 設定した指標概念について、相当する定量的なデータの有無を調査し、具体的な指標項目（定量変数）を設定する。定量的なデータが存在しない指標概念については、定性的なチェックリスト（名義変数あるいは順序変数）を設定する。
- 指標概念に対応する指標を用いて、特定の地域を想定した分析や試行を行ない、設定した定量変数及び名義変数あるいは順序変数の妥当性を検証する。
- 指標を用いた温暖化影響・適応策の検討手順を記述し、別途作成する地方自治体向けの適応策検討のガイドラインに反映させる。

3. 温暖化影響構造と脆弱性

(1) 温暖化影響構造の模式

温暖化影響の構造として設定した模式を図-1に示す。この模式は、温暖化影響の構造について、次の側面を示している。

- 温暖化影響は、自然、経済・社会、生活といった3つの側面への影響として捉えられる。S-8等多くの研究では、自然影響を中心として定量的に検討しているが、経済・社会への影響に関する研究は少ないといえる。
- 温暖化影響は、直接的な影響と直接影響による二次

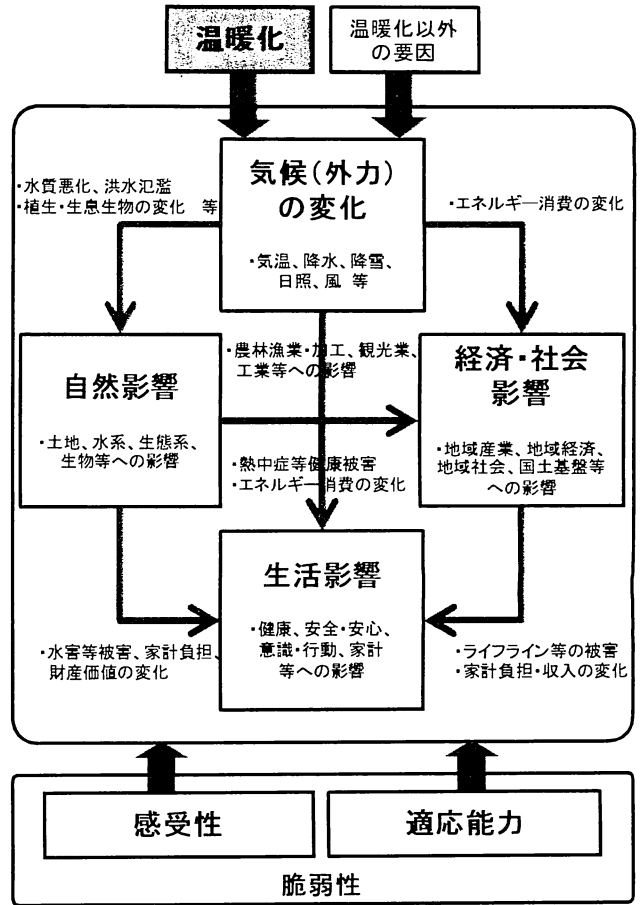


図-1 温暖化の影響構造

的な影響（間接的な影響）がある。生活への影響は、自然影響を介した個人資産への影響、エネルギーインフラへの影響を介した影響等が間接的な影響であるが、猛暑による熱中症被害等は直接的な影響といえることができる。

- 気候変動という外力変化の要因は、温暖化だけでなく、ヒートアイランド等の土地利用要因あるいは気候の周期等の要因も考えられる。また、影響を顕在化させる要因は、気候外力だけでなく、自然あるいは経済・社会、個人生活上の要因がある。

(2) 脆弱性の概念

温暖化影響の多重性を考えると、特に間接影響の部分は直接影響以上に温暖化以外の要因が寄与している。経済・社会への影響、生活への影響は、自然への影響以上に、温暖化以外の要因のウェイトが高くなると考えられる。

例えば、農業関係の地方研究機関へのヒアリングでは、農業分野での温暖化影響のうち、干ばつによる被害では、干ばつという気候外力だけでなく、農地の作土深が浅くなっているという意見もあった。作土深は根が入れる深さを示すが、これが浅いと、干ばつ被害

を受けやすい。作土深は、化学肥料の影響等も考えられる。また、干ばつに対応する作付技術や新品種の開発ができたとしても、それを採用するだけの農業従事者の意欲や体力等が不足する場合もある。この想定例では、干ばつという影響への感受性あるいは適応能力が問題要因となっている。

以上のような例を考えると、温暖化以外の要因の寄与度が高い影響項目であるとしても、それを温暖化影響項目として除外する必要はない。一定程度に温暖化の影響に起因する現象を温暖化影響項目として捉えられればよく、気候外力以外の受け側の要因である感受性や適応能力については、それを適応策として改善することが重要と捉えるべきである。

この受け側の要因を含めて、「脆弱性」を定義することができる。IPCCでは、「脆弱性」を「気候変動や極端現象を含む気候変化の悪影響によるシステムの影響の受けやすさまたは対処できない度合い。脆弱性はシステムがさらされる気候変動の特徴、大きさ、速度と、システムの感度、適応能力の関数である²⁾」と定義している。

「脆弱性」の概念構成を図-2に示す³⁾。「脆弱性」の構成要素は、まず潜在的な影響程度（これは気候外力及び感受性からなる）と適応能力とに分けられる。さらに、感受性は生物物理的な感受性と社会・経済的な感受性とに、適応能力は地域行政の能力、地域住民の能力、地域企業の能力等に分けることができる。

また、三村⁴⁾は、適応能力の支配要因として、次の要素を指摘している。これらの要素は、さらに主体個々の能力、主体間の関係、社会的な支援等の側面に整理することができる。

資源：資金や設備等の利用可能な資金の量、
人的資本：技能、経験、教育等を含む人的能力
知識・認識：影響を感知・理解する基礎的知識
情報管理：情報へのアクセス、処理・解釈の能力
技術：技術の利用能力、技術へのアクセス
社会制度：社会的な制度の整備状況
共同体：克服のためのコミュニティ・ネットワーク
リスク管理：リスク共有、分散する仕組み・能力

4. 温暖化影響・適応関連指標の体系設定

適応策の検討手順とそれに対応する指標概念を、次のように整理した（図-2）。

(1) 現在及び短期的な温暖化影響の評価

現在生じている影響、及び短期的に生じる可能性の

ある気候変動の影響評価を行う。ここでは、地域における「現在影響評価指標」の収集・分析が必要となる。

「現在影響評価指標」は、既存統計データ等より得られるもの（「既存統計等による現在影響評価指標」）と新たな観測によって得られるもの（「新規観測による現在影響評価指標」）がある。

さらに、「既存統計等による現在影響評価指標」は国の指定統計等のように全国共通で得られるもの（「全国共通の既存統計等による現在影響評価指標」）と、地域独自に決められた方法で継続的に観測されているもの（「地域独自の既存統計等による現在影響評価指標」）がある。

新たな観測によって得られる指標としては、市民参加型モニタリングの精度を高めるための手法の開発、気象ロボットやセンサーにより気候条件の変化や影響等を自動化する手法の開発等も求められる。

(2) 長期的な温暖化影響リスクの評価

長期的な影響リスク評価は、「脆弱性」の評価と将来的な影響の予測という2つの側面で分けることが考えられる。「脆弱性」の構成要素である気候変動の外力、影響への感度・感受性、適応能力（抵抗力）等の評価する指標を構築することで、将来影響への対策を対症療法的に行うだけではなく、感度や適応能力の改善に踏み込んだ適応策を検討することが可能となる。

将来的な影響の予測は、S-8研究の成果が活用可能となる。特に、S-8研究では、水資源、水質、水災害、農業、森林、熱中症、感染症等の分野毎に将来影響の予測を行ない、その結果を地方公共団体等が適応策の検討に活用可能なように、簡易予測ツールが提供される予定である。

なお、多様な影響現象があるなか、あらゆる影響を全国レベルで予測することはできない。地域の特産品である果樹や野菜等は地域独自に影響を予測することとも必要となる。

以上の検討に資するための指標は、「脆弱性評価指標」と「将来影響評価指標」で構成される。

「脆弱性評価指標」は、外力、感度（感受性）、適応能力（抵抗力）の3つの側面で評価する。

「将来影響評価指標」は、影響程度とその不確実性をセットとする。影響程度が大きいと予測され、不確実性が低い影響への対応がより優先順位が高いと評価される。「現在影響評価指標」の全てについて、将来影響の予測を行なうことが困難なため、「将来影響評価指標」は「現在影響評価指標」の項目の一部となる。

(3) 温暖化影響適応策の計画、実施、進行管理



図-2 脆弱性の構成要素

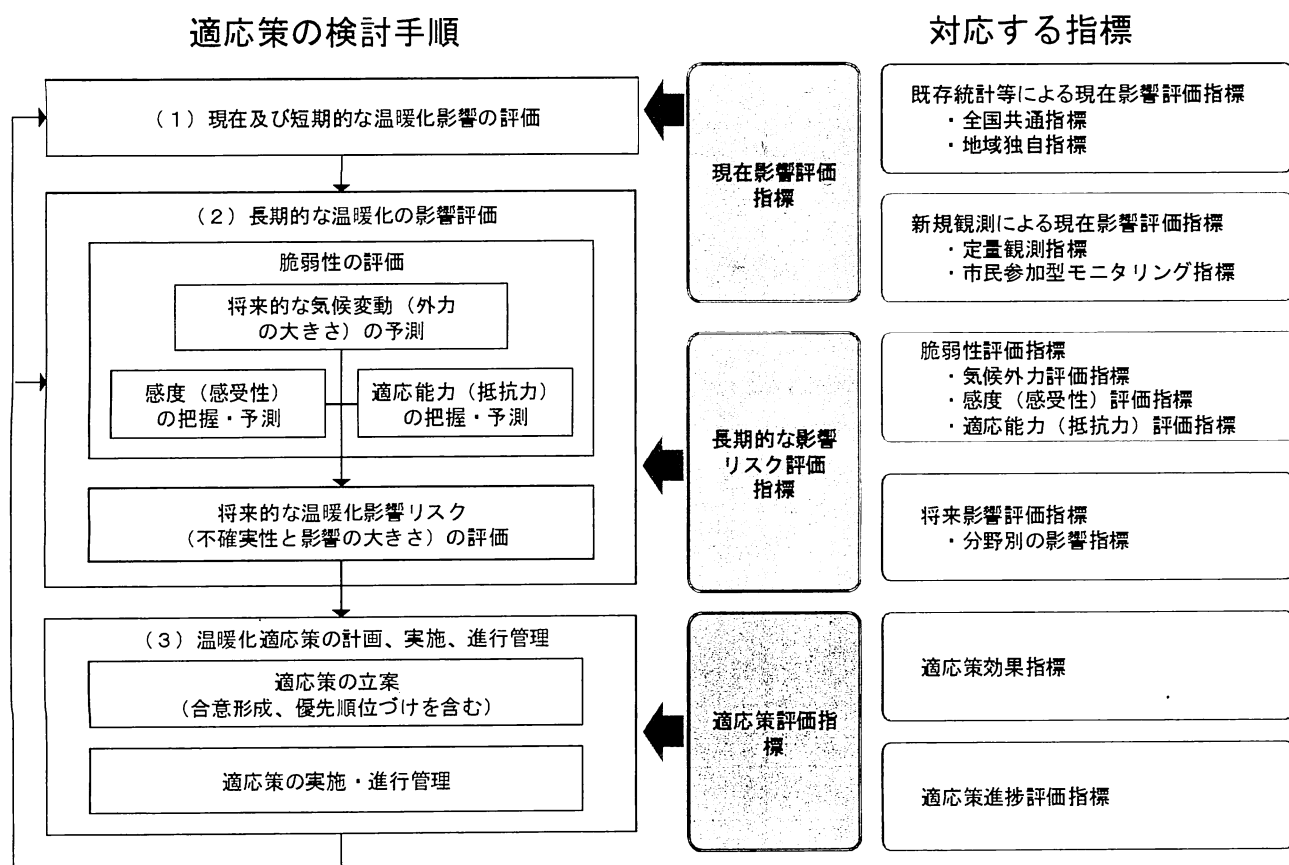


図-3 温暖化影響・適応策の検討手順と温暖化影響・適応関連指標の体系

将来の気候変動の影響をふまえ、適応策の立案（合意形成、優先順位づけを含む）、適応策の実施・進行管理を行う。この段階では、影響評価指標による適応策の実施効果の予測・分析、適応策の進捗評価指標に

よる進行管理が必要となる。

この段階を支援する指標は、「適応策効果指標」と「適応策進捗評価指標」となる。「適応策効果指標」は、適応策の実施による影響の軽減程度を測る指標と

費用対効果を測る指標によって構成される。「適応策進捗管理指標」は、適応策実施メニューを設定し、その実施状況や課題等を把握するものである。

5. 温暖化影響・適応関連指標の具体化

4で示した枠組みについて、農業分野での指標項目を具体化した結果を表-1～表-3に示す。

(1) 現在及び短期的な温暖化影響評価指標

現在影響評価指標では、農林水産省による気候被害統計より高温化や水害等による被害面積、被害量が都道府県別にわかる。また、作物統計による作付面積あたり収量のデータも、時系列での変化や気候との関連をみることで、温暖化影響の指標として、活用できる。各都道府県等では、試験場毎に水稻や果樹、野菜等について、品種別作況データを持っており、活用可能性がある。水稻でいえば、コシヒカリと地域の特産米で高温被害の状況が異なり、地域の品種別作況データを分析することが重要である。

農業関係の影響は、農作物の収量、質、被害額の面で捉えることができる。また、高温化で収量が増加する場合もあるため、プラス面も把握することになる。

(2) 長期的な温暖化影響リスク評価指標

脆弱性評価のうち、感受性においては農業への依存度、農業の作付の多様性について、農業経営関連のデータを加工した指標作成が考えられる。また、渇水等の水資源変動の影響の受けやすさ等について、過去の被害状況や関係者へのヒアリングによるチェック等が考えられる。適応能力については、農業従事者及び消費者の意識・行動の把握が必要であり、関係者アンケート調査等により指標を作成することが考えられる。

将来影響評価指標については、S-8 研究において水稻等の収量、あるいは農作物の適地の変化について予測が検討されており、その成果を活用することが考えられる。影響の大きさと予測の不確実性を評価することが重要である。地域独自の農作物については、地域の研究機関等が、気候と生育に関するデータを分析し、その関係を示す影響関数を作成して、将来影響を予測することも考えられる

(3) 適応策評価指標

適応策効果指標では、対策の実施による気象被害の軽減分を測定・評価する指標が考えられる。

適応策進捗管理指標では、脆弱性の改善に関する適応策、技術開発・経済的手法・情報的手法等を組み合

表-1 農業分野での現在及び短期的な影響評価指標の例

指標分類		指標項目
既存統計等による現在影響評価指標	全国共通の既存統計等による	●作付面積あたり水稻気象被害面積、あるいは収量あたり水稻気象被害等量（都道府県別） ●作付面積あたり水稻、穀物、果樹、野菜、花き等収量（市町村別）等
	地域独自の既存統計等による	●水稻品種別の作付面積あたり収量 ●水稻品種別の1等米、白未熟粒・胴割粒の比率 ●水稻の降水被害、紋枯病や病虫害のカメムシ等）発生回数 ●果樹や野菜等品種別の作付面積あたり収量 等
新規観測による現在影響評価指標	定量観測指標	●自動観測ロボットによる農地
	市民参加型指標	●生産された農産物の質に係るデータ ●市場での農作物の価格 等

表-2 農業分野での長期的な影響リスク評価指標の例

指標分類		指標項目
脆弱性評価指標	気候外力	●気温の上昇（日平均、昼夜間気温） ●降水の変化（降水量の増加、熱帯低気圧増加、前線停滞等）
	感受性	●地域経済における農業依存度（生産額、従業員数、専業農家比率） ●作付における特定農作物への依存度（特化度、多様性を示す指標） ●農業における渇水等の影響の受けやすさ（チェックリスト等）
	適応能力	●農家指導を行う体制整備の状況 ●対策の認知、普及状況 ・慣行見直しによる高温への対応方策 ・耐性品種の普及 ●気候変動の被害に対する備えの状況 ・風水害等に対応可能な共済等加入 ●気候変動に対する消費者の理解状況
将来影響評価指標		●水稻等収量 ●生育適地

表-3 農業分野での適応策評価指標の例

指標分類	指標項目
適応策効果指標	●対策実施地域と非実施地域における作付面積当たりの気候被害量等比較 ●気候被害軽減による回避被害額 等
適応策進捗評価指標	●気候変動の影響に関するモニタリング体制、情報基盤等の整備状況 ●適応策に関連した庁内組織整備状況 ●行政と研究機関等の連携体制状況 ●計画や取組方針の作成状況 ●普及機関・組織の整備状況 ●農家等への指導・普及啓発の状況 ●生産者における意識・取組みの状況 ●生活者における意識等の状況

わせた適応策を体系的にチェックリスト化する必要がある。この際、農業分野では耐性品種等の開発が進められているが、その普及等は今後の課題になっており、技術普及等に踏み込んだ評価指標の作成が必要である。

6. おわりに

本研究では、温暖化影響・適応関連指標を体系的に設定し、農業分野において具体化を検討した。

今後は、設定した指標概念について、あらゆる影響分野における定量的なデータを整理し、具体的な指標項目の設定を進める。

さらに、設定した指標を用いて、特定の地域でのモデルスタディを行ない、設定した指標の妥当性の検証と改良、指標を用いた温暖化影響・適応策の検討手順の記述等を進める予定である。

また、本報告では示さなかったが、市民参加型モニタリング指標の開発についても進めており、別機会での報告を予定している。

謝辞：本報告は環境省環境研究総合推進費（S-8温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究）の支援によ

り実施されている。また、本研究は、S-8を構成するサブテーマのうち、サブテーマ2「自治体（都道府県、市町村）レベルでの影響評価と総合的適応策に関する研究」の一環として実施している。同サブテーマは、電力中央研究所、東京農工大学、埼玉県環境科学国際センター、東京都環境科学研究所、長野県環境保全研究所、神奈川県環境科学センターの連携と分担により実施している。本研究の各研究機関との協働成果である。

参考文献

- 1) 温暖化影響総合予測プロジェクトチーム：地球温暖化日本への影響－長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価－（環境省 地球環境研究総合推進費 戦略的研究開発プロジェクト s-4 温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究 第2回報告書）,2009
- 2) IPCC 第三次評価報告書第2作業部会報告, 2001
- 3) Hans-Martin Füsse : REVIEW AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF INDICES OF CLIMATE CHANGE EXPOSURE, ADAPTIVE CAPACITY, SENSITIVITY, AND IMPACTS ,2009
- 4) 三村信男：地球温暖化対策における適応策の位置づけと課題,地球環境,Vol.11,No.1,pp.103-110,2006

DEVELOPING INDICES FOR MONITORING THE IMPACTS OF GLOBAL WARMING AND ADAPTATION — ATTENTION TO VULNERABILITY CONCEPTS

Nobuo SHIRAI, Kumiko KAJII, makoto OGAWA and mitsuru TANAKA

It is necessary to develop indices that can be used for impact assessments of global warming, and planning, implementation and progress management of adaptation measures. In this research, indices applicable to impact assessments of global warming for current and short-term, impact risk assessments of global warming for long-term, and planning, implementation and progress management of adaptation measures are established. Not only predictive values of future impacts but also the indices to analyze vulnerability are important especially in impact risk assessments of global warming for long-term. Vulnerability is divided into three components: degree of climatic external forcing, sensitivity and adaptability.

In this research, the indices in agricultural sector are formed to the beginning. It is scheduled to form indices in all impact fields in the future. By using them, we are planning to establish adaptation measures on a trial basis and a guideline that shows considering steps of adaptation measures.