

脆弱性の概念と気候変動適応における脆弱性の構造に関する分析

白井 信雄^{1*}・田中 充¹・小野田真二¹・木村浩巳¹・馬場健司²・梶井公美子³

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電力中央研究所 社会経済研究所 (〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1)

³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1-7-5)

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

本研究では、適応策を「気候変動の影響に対する脆弱性の規定要因の改善」と定義する。そして、「脆弱性の規定要因を分解し、構造化することで、適応策を体系化することができる」という考え方を前提として、適応策の体系化と既往施策に対して追加すべき適応策の検討を行った。

分析は、(1)脆弱性概念の整理、(2)気候変動の影響分野別の脆弱性の規定要因の構造化、(3)脆弱性の規定要因の影響分野横断的な整理、(4)脆弱性の規定要因の改善策としての適応策の整理という手順で行った。分析結果を踏まえ、脆弱性のうちの感受性、とりわけ土地利用や社会経済システム、社会関係資本等といった根本的要因の解消に踏み込んだ適応策の必要性について、考察を行った。

Key Words: adaptation to climate change, vulnerability, sensibility, 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。S-8研究では、気候変動影響の将来予測を精緻化するとともに予測結果を用いた適応策の実装化を目指している。

一方、気候変動への適応策の実装においては、「気候変動影響の地域多様性」、「ステイクホルダーの地域密着性」、「地域レベルのきめ細かな気候変動影響対策の必要性」という観点から、地方自治体の関与と主導が不可欠である。しかし、地方自治体による適応策の検討状況をみると、適応策の計画策定に向けた具体的な検討を行っている団体は長野県、埼玉県、三重県等に限定されている(法政大学調査、平成24年7月時点)。この理由としては、気候変動対策としての適応策の法制度的な位置づけが確保されていないこととともに、「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」等があげられる(法政大学の地方公共団体ヒアリング調査)¹⁾。

こうした適応策実装上の課題を解消すべく、法政大学では、S-8研究の一環として、気候変動の将来影響の予測結果を地域に提供するとともに、長野県等での適応策検討のモデルスタディを行い、それを踏まえて適

応策の検討手順を「適応策ガイドライン(Ver.1)」をとりまとめたところである。

しかし、適応策の実装上の課題は多く残されている。特に課題となる点の1つが、適応策の体系化と既往施策に対して追加すべき適応策が明確になっていないという点である。気候変動については、現在及び短期的な影響が顕在化していることから、気候変動への適応策と意識されないまま、水災害や農業被害、熱中症等の分野での対策がとられている。しかし、現在及び短期的な影響に対する適応策や将来影響を踏まえて現在の対策に追加すべき適応策の具体化が不十分なため、行政の関連部局を巻き込んだ適応策の検討を促しきれていない。

具体的な適応策は、これまでも環境省「気候変動適応の方向性」²⁾等に例示をされてきた。しかし、適応策の実施例の羅列に留まっており、適応策の体系を構造的に示したものにはなっていない。

2. 研究の目的と方法

(1) 研究の目的

本研究の目的は、地方自治体による適応策の検討・推進に資するように、適応策の具体的な体系や既存の対策に追加すべき具体的な適応策を明らかにすることにある。

そして、本研究では、適応策の体系化と具体化のた

めに「脆弱性」の概念に着目する。「脆弱性」とは、影響の受けやすさや傷つきやすさを示し、気候変動のみならず様々な分野で使用されている概念である。気候変動分野における「脆弱性」の構造を整理し、抽出された「脆弱性」の規定要因の改善策を検討することで、適応策の体系化と既往施策に対して追加すべき適応策の抽出を検討する。

(2) 関連する既往研究

本研究で着目する気候変動分野での「脆弱性」及び「適応策」に関する研究としては、田村（2012）³⁾によるものがある。同研究では、アジア太平洋地域における脆弱性評価指標の開発を目的として、脆弱性の概念及び評価指標の整理、メコンデルタにおける脆弱性評価の手法の具体化を行っている。

また、海外においては、O'brein et al. (2005)⁴⁾、Fussler (2009)⁵⁾、Eriksen and Kelly (2007)⁶⁾等が気候変動分野における脆弱性の概念整理を行っている。これらの研究は脆弱性の考え方を理解する上で有益であるが、脆弱性の構造から適応策の体系を導出する研究ではない。本研究のように、「脆弱性」の規定要因の改善策として適応策を検討する研究は先行事例がみられない。

(3) 研究の方法

本研究は、次の3つの手順で実施する。

- a) 本研究の鍵となる脆弱性の概念を明確なものとするために、気候変動分野及びそれ以外の分野も含め、脆弱性をキーワードとする論文を検索し、50件に絞り込んだうえで、それらの論文を分類し、既往の脆弱性概念を抽出・整理を行う。気候変動分野の脆弱性に関する研究は、被害を受けやすい開発途上国をフィールドとするものが多く、日本での気候変動の脆弱性を上げたものが少ないため、気候変動分野以外での脆弱性に関する日本語の論文を整理対象とした。
- b) 気候変動分野における脆弱性の概念フレームを設定し、水質、水資源、水災害、農業、自然・森林生態系、熱中症、感染症といった影響分野毎に、脆弱性の規定要因の構造図を作成する。分野毎に抽出した脆弱性の規定要因を、分野横断的に整理することで、気候変動影響における脆弱性の全体像を明らかにする。
- c) 気候変動の影響分野毎に抽出・集約した脆弱性の規定要因の改善策として、適応策のメニューを整理し、特に現在実施されている適応策に追加すべき適応策を考察する。

3. 「脆弱性」の既往概念

(1) 「脆弱性」に関する抽出論文の整理

論文の検索には、国立情報学研究所の論文情報ナビゲータ「Cinii」を用いた。脆弱性をキーワードとした論文検索の結果、931件がヒットした（2012年10月時点）。このうち569件を占める医療・臨床心理分野と情報セキュリティ分野の論文は除外し、残る362件から代表性があると考えられる50件の論文を抽出した。

抽出した論文は、a) 地形・地質特性、b) 都市基盤・構造、c) 複雑なシステム・巨大技術、d) 社会構造・社会的弱者、e) 行政対応・システム、f) 自然環境・生態系保全に分類することができた。各分野における脆弱性の概念を以下に整理する。a)～e) は地震や水害等の災害分野における人間システムの脆弱性の要素を取り上げており、e) 自然環境・生態系保全は自然システムの脆弱性を取り上げている。主要な論文の内容を以下に整理する。

a) 地形・地質特性

地震や災害分野において、地形や地質の面での被害の受けやすさを脆弱性として捉えた研究がみられる。代表的な研究として、林・春山ら（2007）⁷⁾による地形特性に応じた津波災害の脆弱性の分析、本多・須貝（2010）⁸⁾による地震災害への脆弱性として沖積層の分布特性の定量的把握等がある。

b) 都市基盤・構造

多賀・道脇（2000）⁹⁾は、都市化による密集市街地の火災延焼、地下空間の浸水被害、危険地域・河川流域への居住地拡大による土砂災害・水害、中山間地域部の過疎化による危機管理機能の低下・緊急医療体制不足等による被害拡大など、地域の構造的な脆弱性を指摘した。

和泉（1999）¹⁰⁾は、途上国の都市の構造的な特徴が災害被害の高さの要因であることを考察し、災害に強い都市計画づくりを提案している。

c) 複雑なシステム・巨大技術

複雑なシステムや巨大技術への過度な依存による脆弱性が論じられている。例えば、和田（1986）¹¹⁾は、災害や事故におけるシステムとしての都市機能の低下・マヒを都市の脆弱性と定義し、電力・ガス・水道・通信・医療等の都市機能の相互関連性から都市の脆弱性を考察している。

桜井（1991）¹²⁾、池田（1998）¹³⁾は、①システムの巨大さ、複雑さと事故のプロセス、②エネルギー・毒物量の絶対量と被害の大きさ、③制御の困難さ、④モデル化の問題（限定的な想定による設計）、⑤情報公開の問題（秘密保持による不十分さ）等から、巨大技術

の不十分さを説明している。

d) 社会構造・社会的弱者

野田 (1986)¹⁴⁾、島田 (2009)¹⁵⁾、浦野 (2010)¹⁶⁾は、社会の構造的諸要素が絡み合うことで、ある社会集団が受ける被害メカニズムや被害の伝搬過程の要因を脆弱性と捉え、その枠組みを提示している。例えば、野田は、脆弱性の形成要因を、個人レベル（心理的要因）、組織レベル、制度・体制レベル、規範・文化レベルに分類して検討している。

松本・立木 (2009)¹⁷⁾、葛西・近藤 (2009)¹⁸⁾は、母子家庭や低所得者の住宅事情と災害被害の関係を分析し、社会の脆弱層と被害の大きさの関係を指摘している。

e) 行政対応・システム

日下部 (2007)¹⁹⁾は、中小河川への予算配分の少なさと整備基準の低さを、中小河川の脆弱さと指摘している。中小河川の整備水準の低さとは、1級河川の大半が「100～200年に一度の大雨」に耐えることを目標としているのに対し、中小河川の多くが「5年に1度の大雨」が整備水準になっていることを指している。

また、清家・多賀 (2000)²⁰⁾は、阪神・淡路大震災以降の地域防災の進展において、行政事務全体と防災施策が連動していないことが予防的対応を遅らせていることを指摘している。

f) 自然環境・生態系保全

渡辺 (2004)²¹⁾は、日本の山岳地生態系の脆弱さの要因として、過剰な利用や開発といった外圧と、内部での管理欠如・放棄の両者の影響を受けていることを指摘している。

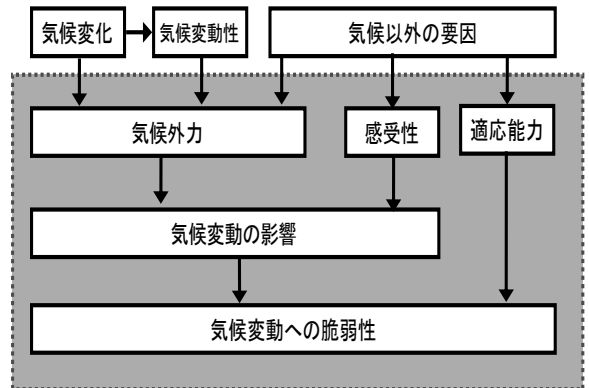
(2) 気候変動分野での「脆弱性」の概念整理

気候変動適応策の領域で脆弱性概念の整理をしている既往論文では、「結果としての脆弱性」(outcome vulnerability)、「文脈上の脆弱性」(contextual vulnerability)を区別している。この2つの脆弱性の定義を整理した上で、IPCCによる脆弱性の考え方の位置づけを確認する。

a) 「結果としての脆弱性」と「文脈上の脆弱性」

「結果としての脆弱性」は、気候変動シナリオで予測される影響から適応策による効果を差し引いた正味の影響の程度を脆弱性と定める。脆弱性を減らすことは、緩和策を通じて、暴露量を減らすことや、悪影響を軽減するための適応策を開発することが含まれる。

「文脈上の脆弱性」では、脆弱性を複合的な要因と過程に起因する社会的・生態的特性として捉え、外的ストレスに対処するための現時点での能力の欠如を脆弱性と定義する。この脆弱性は、生物物理学的な条件の



注) 色を塗った部分が脆弱性の範囲である。

出典) Fussel (2009) より作成

図-1 脆弱性を規定する要素(IPCCが定義するもの)

変化だけでなく、ダイナミックな社会・経済・政治・制度・技術の構造とプロセスの影響を受ける。つまり脆弱性の改善は、貧困撲滅、多様な生活様式、共有資源の保護、集合行動の強化等を含めるものとなる。

b) IPCCの脆弱性の定義

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」と定義している。

この定義は「結果としての脆弱性」を示しているとともに、気候外力、感受性、適応能力を脆弱性を規定する要因としている。IPCCによる「脆弱性」を、Fussel (2006)²²⁾が図-1のように整理している。この図では、気候外力と感受性により規定される潜在的影響が、適応能力によって回避、緩衝、代替、受容等を成される結果として、脆弱性が規定されることを示している。

(3) 日本の適応策のための脆弱性定義

a) 採用すべき脆弱性の定義

(1)で整理した気候変動分野以外の脆弱性の論文においては、「結果としての脆弱性」と「文脈上の脆弱性」の定義が混在している。災害等の規定要因の特定部分に着目する場合は、その特定部分を脆弱性と呼んでおり、「文脈上の脆弱性」の定義になっている。自然環境・生態保全の脆弱性を検討した既往研究では、「結果としての脆弱性」を扱っている。

気候変動分野においては、環境省「気候変動適応の方向性」(2010)²³⁾においても、IPCCの定義を脆弱性の定義として引用している。このことを踏まえ、定義の

混乱を避けるために、気候変動影響の脆弱性の検討においては、脆弱性を「結果としての脆弱性」として定義することが望ましいと考えられる。

b) 検討すべき脆弱性の関連要素

O,lein et al. (2007)²⁹⁾は、制度の検討において、「結果としての脆弱性」では、将来減少する農地の悪影響をオフセットするための政策が対応し、「文脈上の脆弱性」では干ばつに対応するための能力に影響する水の民営化等が該当すると指摘している。また、「結果としての脆弱性」では技術的な適応策が扱われることが多く、「文脈上の脆弱性」では不平等の削減、地域の発展戦略等の社会的側面の適応策が扱われることが多いことを指摘している。

O,lein et al.の指摘は、2つの脆弱性の定義によって扱うテーマが異なる傾向を示しているに過ぎず、定義の選択によって政策等が必然的に異なるという指摘ではない。しかし、「結果としての脆弱性」の検討において、気候変動の影響を規定する文脈上の要因—例えば結果を直接的に規定する要因ではないが、社会的背景として重要な地域の文化や風習、インフラの整備状況等—を見落とす傾向があるとすれば、注意が必要である。例えば、(1)で示したような気候変動以外の脆弱性の論文の多くは文脈としての脆弱性を検討している。都市構造や社会システム等は、気候変動の脆弱性の研究

及び適応策の検討において扱うべき根本的な側面である。結果という目に見える部分を解消する対症療法に留まらずに、感受性や適応能力に関わる社会の弱点を解消するような根本治療を考えるうえで、「文脈上の脆弱性」を捉える視点も重要である。

以上を整理すると、脆弱性を「結果としての脆弱性」として定義するとしても、適応策の検討においては「文脈上の脆弱性」が扱うような感受性と適応能力の要素を明らかにして、その改善策を適応策として検討することが重要である。つまり、適応策を「結果としての脆弱性を解消する対策」と短絡的に捉えるのではなく、「気候変動の影響に対する脆弱性を規定する要因を解消する対策」と捉えることが必要である。

4. 気候変動の影響における脆弱性の構造図

(1) 「脆弱性」を規定する要因の整理（影響分野別）

脆弱性の概念整理を踏まえ、脆弱性を規定する要因の抽出と構造化を行い、構造図として整理した。この作業により、脆弱性を規定する要因を具体的に明らかにすることで、その要因の改善策として適応策の体系的な具体化が可能となる。

脆弱性を規定する要因の構造図の作成例を図-2に示す。この図は次のようなルールで作成している。

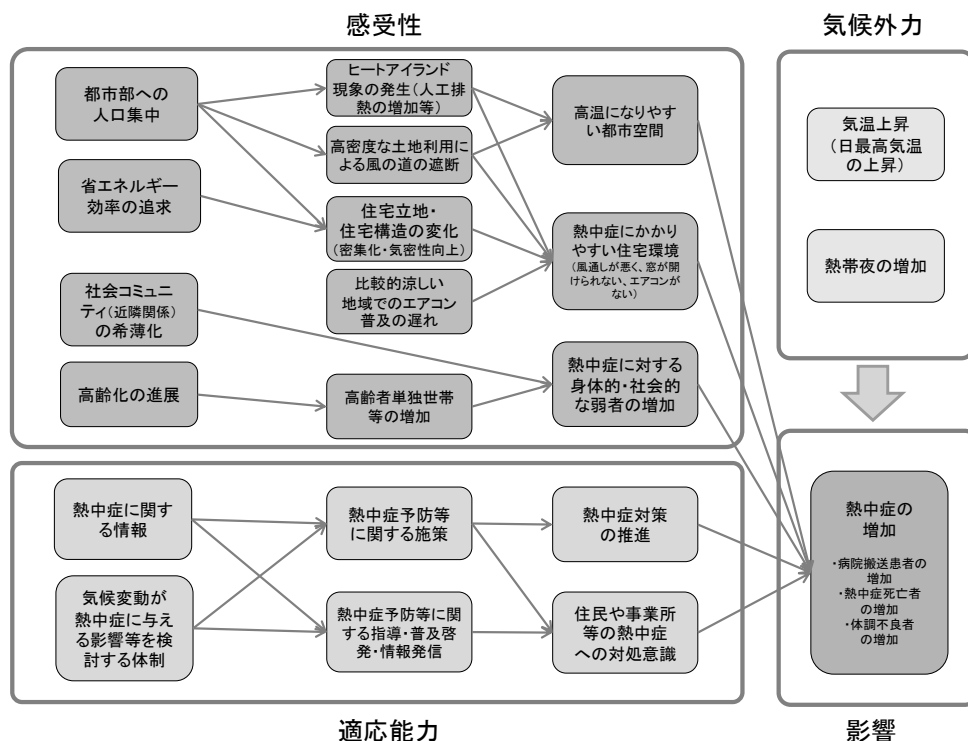


図-2 脆弱性を規定する要因の構造図(熱中症の場合の例)

- a) 脆弱性を規定する要因を、気候外力、感受性、適応能力の3側面で整理する。特に適応策の検討において重要となる感受性と適応能力について、その構成要素を影響分野毎に整理する。
- b) 感受性と適応能力について、影響を規定する直接的な要因だけでなく、「文脈上の脆弱性」に相当する間接的あるいはマクロな要因を整理する。このため、規定要因は3層で描くものとする。
- c) 感受性は、気候外力の影響の受けやすさ（傷つきやすさ）として、ネガティブな要因として整理する。これに対して、適応能力は気候外力と感受性によって規定される潜在的な影響の顕在化を抑制するポジティブな要因として整理する。

この作業における注意点を2つ示す。1つめは気候変動の影響分野毎に影響事象を具体的に設定して、その要因を抽出するわけであるが、設定する影響事象はネガティブな影響に限定している点である。気候変動の影響では、相対的に寒冷な地域で農業収量が増加する等、ポジティブな影響もあるが、その場合は検討対象外としている。なお、このことは気候変動を追い風として捉える適応策を否定したり、軽視するものではない。ポジティブな影響の構造は、感受性や適応能力といったフレームでは捉えにくいためである。ネガティブな影響が現在の活動の障害として特定しやすいのに対して、ポジティブな影響は現在とは異なる活動の可能性として発生するものであり、可能性が幅が広く、因果関係として特定しにくいとも考えられる。

2つめは、適応能力を気候変動への影響への対策（すなわち適応策）の実施状況やその実施を支える能力として捉えていることである。これは「文脈上の脆弱性」における適応能力の考え方である。「結果としての脆弱性」における適応能力は「技術的な適応策が上手く取り入れられるかどうか、あるいは実施されるかどうか」を測るものとして用いられている。例えば、適応技術を導入するために必要となる一般的な意味での財政状況、人的な教育水準等が「結果としての脆弱性」における適応能力となる。こうした基盤的な適応能力は、開発途上国の将来的な適応策を検討する場合には重要な側面であるが、日本国内では基盤整備が一定水準以上にあることから、適応策を明示的な目的とする側面を、適応能力として捉えることが適応策を推進するうえで有効である。

(2) 「脆弱性」を規定する要因の影響分野横断的整理

(1)で作成した影響分野毎の脆弱性を規定する要因について、影響分野横断的な整理を行ったものが表-1である。この際、感受性については生物物理的要因（自然

条件・自然状態、土地利用、人工施設・基盤）、社会経済的要因（活動様式・社会関係資本、社会経済構造）を要因の分類軸とした。適応能力は、技術・知識、制度・施策、意識・能力を要因の分類軸とした。

以下、脆弱性を規定する要因の全体傾向を整理する

a) 適応能力 全般

感受性については、影響分野毎の差が大きいことに特徴がある。対して、適応能力については、各影響分野に共通して、気候変動影響のモニタリング、適応策に係る予算・計画・推進体制、普及啓発・情報発信、適応策に係る関係主体の意識等が要因として抽出される。しかし、各影響分野による要因の差は大きくない（このため表-1での掲載は割愛した）。

また、適応能力においては、適応策の採用において、意欲や能力、資金負担力等を持たない被影響主体が存在する。小規模零細・高齢者農家、水災害からの移転資金を持たない世帯等がこうした「適応策の採用上の弱者」として存在すると考えられる。

b) 感受性のうち土地利用

土地利用に係る要因が各影響分野に共通して抽出された。総括的にいえば、土地利用に係る課題は、「水、大気、熱等の自然システムの循環を阻害する人工的かつ集積的な土地利用」にある。

影響分野別にみると、水質分野では、流域の土地利用により面源負荷が抑制されず、内水域等への水質汚濁物質の蓄積がされており、このことが温暖化による水質悪化を招く要因となっている。水資源（渇水）や水災害においても流域の土地利用が流量変動を大きくしていることが脆弱性の規定要因となっている。農業では農地の持つ地力の低下、森林生態系では生物多様性の分断等が脆弱性を増大させている。熱中症では高密度化し、風の道を分断した都市空間が気候変動影響の感受性を高めている。

また、水資源（渇水）では、流域の下流に位置することが多い都市への過度な活動集中が水循環のバランスを損なっている、水災害では下流に位置する都市への産業や居住の過剰な集積が被害を拡大させている。

c) 感受性のうち活動様式・社会関係資本

気候変動の影響が人体に直接及ぶ水災害と熱中症、感染症については、「気候変動の影響を受けやすい弱者」としての高齢者単独世帯の増加等という要因が存在する。

また、水災害や熱中症では、近隣等のコミュニティの劣化（社会関係資本の劣化）が脆弱性を高める要因となっていると考えられる。社会関係資本の劣化は弱者を支える力の劣化であり、弱者の問題を増幅させる。森林生態系については、自然とのふれあいを求める

表-1 脆弱性の規定要因(影響分野別総括表, 感受性の部分のみ)

		水質	水資源	水災害	農業	森林生態系	熱中症	感染症
感受性	生物物理	自然条件・状態 ◎湖底等への栄養塩等の蓄積 ◎流域からの栄養塩、濁水の流出 ○面源負荷の増加、表土流出 ○流域の自然浄化機能の低下	◎気温や降水の変化によって渇水が発生しやすい地域の拡大 ○流域の保水力、水資源涵養力の低下	◎降水量や降水パターンの変化等によって被害が発生しやすい地域の拡大	◎害虫・雑草・病原生物の発生、外来種侵入 ◎農業生態系の攪乱・劣化、地力・保水力の低下	◎生息地ネットワークの劣化・分断 ◎地域固有種の天敵の増加 ○登山による種や外来種の持ち込み ○ごみ・し尿の増加	◎高温になりやすい都市空間 ○ヒートアイランド化(人工排熱の増加等) ○高密度な土地利用による風の道の遮断	◎病原菌や媒介生物への接触率の増加 ●病原菌や媒介生物の生息密度の拡大
	人工施設・基盤		◎貯水・配水施設の容量不足				◎熱中症にかかりやすい住宅環境 ○住宅立地・住宅構造の変化	
	土地利用	●土地利用の変化(宅地等開発の進展、傾斜地の開発、林道整備等、耕作放棄の増加等)	●土地利用の変化(森林面積の減少、人口の偏在化等)	◎洪水や土砂災害の被害が発生しやすい地域への人口や産業立地の集中 ○浸水や土砂災害危険区域の拡大	○農地の荒廃・減少 ○化学肥料や農薬の過剰使用	○森林や生物種の保全・管理の担い手の減少 ●土地利用の変化(開発等)	●都市部への人口集中	
	社会経済	活動様式・社会関係資本		◎洪水や土砂災害に対する身体・社会的弱者の増加 ○防災組織弱体化 ●社会コミュニティの希薄化	◎特定品目・品種への集中、多様性の欠如	●登山・観光客の増加 ●ペットの増加	◎熱中症に対する身体・社会的な弱者の増加 ●社会コミュニティ(近隣関係)の希薄化	◎感染症に対する身体・社会的な弱者の増加 ○免疫不全者の増加
	社会経済構造		○生活／工業用水等の需要の増大 ●水消費を前提とした事業活動、ライフスタイルの浸透	●高齢化の進展	○大量型の流通構造の定着 ●農家の高齢化、農業従事者の減少 ●農業の国際競争の激化	●農山村人口の減少・高齢化 ●木材価格の低下、林業採算性の悪化	○高齢者単独世帯等の増加 ●省エネルギー効率の追求	●人の広域移動(観光・貿易等) ●高齢化の進展

◎:影響を顕在化させる要因 ○:顕在化させる要因と根本的な要因をつなぐ中間的要因 ●:根本的な要因

意識の高まりを背景にした登山客の増加等が脆弱性の要因となる。気候変動の影響は、人間の関わりにより脆弱性を増している森林生態系において顕在化しやすくなっていると考えられる。

農業は生産者が直接的な被影響主体となるため、脆弱性の規定要因として、農業経営における感受性の高さが重要である。具体的には、特定品目・品種に集中した農業経営では、気候変動による被害が壊滅的狀態を招く可能性がある。また、地域内での支え合いや消費者に支えてもらう関係が希薄な場合に、気候変動の被害は農業経営に直撃的な影響をもたらす。農業分野においても社会関係資本が脆弱性の規定要因となる。

d) 感受性のうち社会経済構造

社会経済構造に係る脆弱性の要因としては、高齢化社会の進展、グローバル経済下における農業及び林業の経営環境の厳しさ等が抽出された。

これらは、感受性を根幹で規定する社会経済の体力・活力に係る要因である。開発途上国の経済発展やグローバル経済化が進展し、国際競争が激化する中で、経済的に成熟期を迎え、類を見ないスピードで高齢化社会を迎えつつある日本では、この社会経済構造面での活力の低下が、気候変動への脆弱性を強く規定する。

また、大量生産・大量消費・大量廃棄型の生産・流通・消費構造、人の広域移動等、戦後の日本の成長を支えてきたスタイルが、気候変動の影響を増幅させる可能性がある。

5. 気候変動影響に対する追加的適応策

適応策を考えるうえでは、脆弱性を規定する要因を、感受性と適応能力といった側面で捉え、また影響を規定する顕在的要因だけでなく、その根本にある要因まで掘り下げて認識することが必要である。

4までの検討を踏まえ、既存施策に対して追加すべき適応策として重要と考えられる点を考察する。

(1) 感受性の根本的改善としての土地利用の再構築

a) 健全な水、大気、熱の循環を目指す土地利用政策

土地利用の再構築は、気候変動への感受性の改善を目指して、水、大気、熱等の自然システムの健全な循環を阻害する要因の解消を目指して、実施されるべきである。土地利用にかかる具体的な適応策としては、水質分野では流域の土砂流出、内水域の汚濁物質蓄積等の解消、水資源分野では流域の保水能力の向上、農業分野では農地の持つ地力の再生、森林生態系分野で

は生物生息地ネットワークの形成、熱中症では都市内の風の道づくり等があげられる。こうした土地利用の再構築としての適応策について、総合的あるいは個別的な土地利用計画に盛り込んでいくことが必要である。

b) 都市に集中する地域構造の再構築

都市に活動が集中している地域構造は、水資源や水災害、あるいは熱中症において、感受性が高い。

こうした地域構造を再構築するためには、都市毎に適応の観点から望ましい土地への再集約（コンパクトシティ化）を進めるとともに、より広域的な見地から、都市から農山村等への移住を進め、都市への集中を緩和する施策も必要である。

また、日本全体で少子高齢化が進展するなか、縮小に対応する地域構造の再構築が求められている。こうした縮小のデザインに、気候変動適応の視点を盛り込むことが重要である。

(2) 気候変動の影響に対する弱者への配慮

a) 感受性と適応能力の両面における弱者への配慮

気候変動の影響における弱者には2つのタイプがある。「適応策の採用上の弱者」と「気候変動の影響を受けやすい弱者」である。熱中症分野において、高齢者は身体的に影響を受けやすい弱者であるとともに、エアコンをつけることに抵抗感が強く、適応策の採用上の弱者にもなっている。

また、農業分野では、小規模零細な農家や体力や資金面等で弱い農家では適応策の採用を円滑に行い難い場合があると考えられる。

2つのタイプの適応弱者は、上記以外にもあらゆる影響分野において存在すると考えられる。適応弱者の存在を検討し、適応弱者をターゲットとした適応策を設計することが必要である。

b) 社会関係資本の希薄化の解消

社会関係資本の希薄化は、特に水災害、熱中症、農業等の分野での脆弱性を高めている可能性がある。社会関係資本には、結合型社会関係資本と橋渡し型社会関係資本がある²⁴⁾。希薄化が進展しているのは結合型社会関係資本であり、橋渡し型社会関係資本は、NPOの台頭やインターネットを介した自由なつながりの広がり等により、強まっている傾向がある。気候被害は属地的な被害であるため、地縁的な共助関係の形成としての結合型社会関係資本の強化が重要であるが、農家の被害等ではそれを消費者側で支えるような橋渡し型社会関係資本の重要性もある。

社会関係資本の強化については、適応策を実践しながらその活動を通じて、関係を強めるような方法が有効であると考えられる。

(3) 活動の多様性を高めること

a) 農業経営の多様化

農業分野での脆弱性の規定要因として、農業経営の画一化があることに注目する。農業経営の画一化は、スーパーの登場を背景して、大量生産・大量流通を支えるために導入された産地指定制度が根幹にある。地域において特定の作物、品種等に特化して生産を行うことで、供給を安定させ、地域ブランドとしての付加価値を確立させる方法が、農業経営を画一化させてきた。しかし、地域毎に画一化された農業では、気候被害を受けると壊滅になる恐れがある。被害を一定を範囲に留めるためには、農業経営の多様化を進めるという視点も必要である。

b) 自助・互助・公助の多重性

先に示した社会関係資本の希薄化は、「互助としての適応策」の必要性を指摘するものである。ただし、適応策には、「自助としての適応策」（自らの意識や能力の向上）、「公助としての適応策」（行政による防御や支援）がある。国民の生命や財産を守るための公助は必要であるが、それに任せるだけでは限界もある。自助についても、民間市場によって自助をサポートすることも考えられるが、サービスを得るための自己負担ができない弱者が存在する。互助は、暮らしの豊かさを支える人間関係という意味で、あるべき社会を築く重要な基盤であるが、互助だけで気候変動適応を行う限界もある。以上のことから、自助と互助、公助の多重性を確保し、相互に補完し合う強靱さを確保することが必要である。

6. まとめ

- 様々な分野の「脆弱性」の概念を整理した結果、防災分野等で「文脈上の脆弱性」である都市基盤・構造、複雑なシステム・巨大技術、社会構造・社会的弱者、行政システム等を適応策として扱っている論文が多くみられた。気候変動分野では、IPCCの定義を踏まえて「結果としての脆弱性」を脆弱性の定義とすることが望ましい。ただし、「文脈上の脆弱性」で扱う感受性や適応能力に係る要素を明らかにして、脆弱性の根本的治療に踏み込んだ適応策を検討することが重要である。
- 気候変動の影響分野毎に、脆弱性を規定する要因を整理した。感受性については生物物理的要因（自然条件・自然状態、土地利用、人工施設・基盤）、社会経済的要因（活動様式・社会関係資本、社会経済構造）、適応能力は、技術・知識、制度・施策、意識・能力に関する要因を抽出し、それらの因果関係を図に整理した。この結果、適応

能力として抽出される要因は、影響分野による差は見えにくい、感受性に関する要因は影響分野による相違があると考えられた。

- (3) 感受性に係る根本的な要因をみると、気候変動の影響分野に共通する点を確認できた。「水、大気、熱等の自然システムの循環を阻害する人工的かつ集積的な土地利用」、「気候変動の影響を受けやすい弱者」、「隣近所やネットワークで支え合う社会関係資本の希薄化」、「社会経済全体の活力の低下」、「大量生産や広域移動等を前提とする経済成長システム」等である。これを踏まえ、既存施策に追加する適応策の検討においては、土地利用や弱者対策等に踏み込んだ適応策の検討が必要であると考えられた。

7. おわりに

本研究では、適応策として意識しないまでも防災や熱中症対策等として既に実施されている適応策に対して、追加して検討すべき適応策の体系化や具体化を進めるために、脆弱性の概念からのアプローチで適応策の検討を行った。

抽出された適応策は、土地利用や弱者対策、社会関係資本等に係るものであり、防災分野等では既に視野に入れている施策であるともいえる。しかし、気候変動の影響を解消する対症療法ではなく、脆弱性の規定要因を改善する適応策の必要性を具体的に整理した点で、意義のある結果である。

今後は、気候変動の影響分野毎に、脆弱性の構造を精査する作業を行うとともに、本研究で考察を行ったような脆弱性の規定要因の改善に踏み込んだ適応策について、国内外の事例を整理する予定である。

謝辞：本研究は、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、S-8を構成するサブテーマ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た成果を取りまとめたものである。

参考文献

- 1) 田中充・白井信雄・山本多恵・木村浩巳：地方自治体における温暖化影響適応策の動向と課題，第39回土木学会環境システム研究論文発表会講演集，pp.309-314,2011
- 2) 気候変動適応の方向性に関する検討会：気候変動適応の方向性,2010
- 3) 田村誠：アジア太平洋地域における気候変動への脆弱性評価：課題と展望，茨木大学人文学部起要 社会科学論集，pp.25-36,2012
- 4) O'Brien, K.L., Eriksen, S., Schjolden, A., Lygaard, L. : What's in a word? Interpretations of vulnerability in climate change research Climate Policy, submitted for publication, 2005
- 5) Fussel, H-M : Review and Quantitative Analysis of Indices of Climate Change Exposure, Adaptive Capacity, Sensitivity, and Impacts, World Bank, 2009
- 6) Eriksen, S.H. and Kelly, P.M. : Developing Credible Vulnerability Indicators for Climate Adaptation Policy Assessment, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12(4), pp.495-524, 2007
- 7) 香織・春山成子・TANAVUD Charchai・三浦正史：タイ Phuket 島のポケットビーチにおける海岸微地形と津波災害脆弱性，自然災害科学, 26(1), pp.31-40, 2007
- 8) 本多啓太・須貝俊彦：日本列島における沖積層の層厚分布特性：沖積平野における災害脆弱性評価のための地形発達モデルの構築にむけて一，地学雑誌, 119(5), pp.924-933, 2010
- 9) 多賀直恒・道脇直見：都市構造の災害脆弱性と水害，福岡大学工学集報(66), pp.71-81, 2001
- 10) 和泉潤：4. 途上国の都市の災害脆弱性（一般セッション その1），地域安全学会梗概集(9), pp.14-17, 1999
- 11) 和田雄志：都市の脆弱性と住民の防災意識（都市と安全対策<特集>），都市問題研究, 38(6), pp.84-97, 1986
- 12) 桜井淳：巨大技術システムに潜む脆弱性-原発・航空機・新幹線に大事故は避けられない?!, エコノミスト, 69(41), pp.88-93, 1991
- 13) 池田論：事故からみた現代技術の脆弱性（特集 事故をめぐって），技術史研究(65), pp.27-37, 1988
- 14) 野田隆：災害に対する社会システムの脆弱性，年報人間科学, 7, pp.37-53, 1986
- 15) 島田周平：アフリカ農村社会の脆弱性分析序説，E-journal GEO, 3(2), pp.1-16, 2009
- 16) 浦野正樹：災害研究のアクチュアリティ-災害の脆弱性/復元=回復力パラダイムを軸として（特集 災害-環境社会学の新しい視点），環境社会学研究, 16, pp.6-18, 2010
- 17) 松本亜沙香・立木茂雄：阪神・淡路大震災の神戸市内におけるアンケート震度および社会的脆弱性が建物被害や直接死者数に及ぼす影響に関する確証的研究，地域安全学会論文集, 11, pp.89-96, 2009
- 18) 葛西リサ・近藤民代：災害時における母子世帯の居住リスク脆弱性：阪神・淡路大震災を事例として（住宅被害・復興住宅，建築社会システム），学術講演梗概集・F-1，都市計画，建築経済・住宅問題，pp.1363-1364, 2009
- 19) 日下部治：国土構造・土地利用と災害脆弱性（特集 自然災害軽減に向けパラダイムの変換を），学術の動向, 12(11), pp.31-35, 2007
- 20) 清家規・多賀 直恒：社会生活統計指標に基づく行政区別地震災害脆弱性評価，日本建築学会構造系論文集(528), pp.183-188, 2000
- 21) 渡辺悌二：山岳地生態系の脆弱性と地生態学研究の現状・課題（特集：国際山岳年 山岳環境の現状と課題）-（第1部 日本列島の山岳環境と今後の保全・活用の可能性を探る），地学雑誌, 113(2), pp.180-190, 2004
- 22) Fussel, H-M., Klein, R.J.T. : Climate change vulnerability assess-

ments: an evolution of conceptual thinking, Climatic Change, in press, 2006

24) Putnam, Robert : Making Democracy Work : Civic Traditions in Modern Italy, Princeton University Press, 1993

- 23) Karen O'Brien, Sri Eriksen and Lynn Nygaard : 'Why Different Interpretations of Vulnerability Matter in Climate Change Discourses', Climate Policy, vol. 7, no.1, pp.73-88, 2007

(2012. 7. 18 受付)

Analysis of vulnerability concepts and vulnerability structures in climate change adaptation

In this study, adaptation measures were defined as "the improvements of vulnerability factors about the influences of climate change." And the purpose of this study was to consider the systematization of adaptation measures, and new measures which should be added to previous measures, on the assumption that adaptation measures could be systematized by decomposing and structurizing vulnerability factors.

The results were as follows : (1) arrangement of vulnerability concepts, (2) structures of vulnerability factors for every influence fields of climate change, (3) arrangement of vulnerability factors across the influence fields boundaries, (4) arrangement of the adaptation measures as the improvements of vulnerability factors. Based on the result, the need for the adaptation measures about dissolution of the fundamental causes about the sensibility of vulnerability (e.g. land use, social economy system, and social capital) were considered.

Key Words: *adaptation to climate change, vulnerability, sensibility, adaptability*