

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

Assessing the vulnerability to climate change in the Asia-Pacific region :
Issues and prospects

田村 誠*

抄録

気候変動への対応には、緩和策と適応策の適切な組み合わせが重要である。緩和策および適応策の科学的検討や優先順位付けの判断材料を提供するには、気候変動に関わる様々な影響や指標を統合的に理解するための脆弱性評価が大きな役割を担っている。本稿は、はじめに文献調査から脆弱性評価の現状と課題を整理する。次に、アジア太平洋地域での脆弱性評価の適用方法を提案し、持続可能な適応策のあり方について議論する。

1. はじめに

気候変動および地球温暖化への対策の目的は、地球や人間社会にとってその悪影響を危険でない水準以下に抑えることである。この目的を達成する上で、緩和策と適応策は補完的な関係にある。すなわち、温暖化を完全には抑制できない以上、生じうる影響に対する適応策が必要であり、逆に、人間社会と自然環境が適応できる範囲に温暖化の進展を抑えるためには緩和策が必要である。したがって、温暖化対策は緩和策と適応策のポートフォリオを考えなければならない。この適切なポートフォリオや対策の優先順位を決める際には、両者の影響を統合的に理解するための高精度、高分解能の予測技術、脆弱性評価、対策の費用便益分析などの研究が重要となる (Tamura and Mimura, 2011)。なかでも気候変動の悪影響を軽減するのに効果的な予見的適応を実施するためには、脆弱性評価が大きな役割を持つ。

脆弱性評価は、気候変動に関わる様々な影響や指標を統合的に評価し、適応策の科学的

検討や優先順位付けの判断材料を提供する。気候変動は多様かつ多重の影響をもたらすため、専門家のみならず政策決定者や地域住民にも利用可能な包括的な情報の提供が重要である。脆弱性評価によって、政策立案、実施、評価という適応サイクルの確立が期待される (図1)。

とりわけアジア太平洋地域は、気候変動に最も脆弱な地域の一つと考えられており、適応策の実施に向けた脆弱性評価が急務の課題となっている。本稿は、はじめに文献調査から脆弱性評価の現状と課題を整理する。次に、アジア太平洋地域での脆弱性評価の適用方法を提案し、持続可能な適応策のあり方について議論する。

2. 脆弱性評価とは

気候変動の研究分野において、気温、降雨といった気候刺激とそれに対する外力の影響評価に加えて、気候変動以外の要素も含めた脆弱性評価が求められるようになってきている。すなわち、気候変動の影響評価および脆弱性

* 地球変動適応科学研究機関 准教授

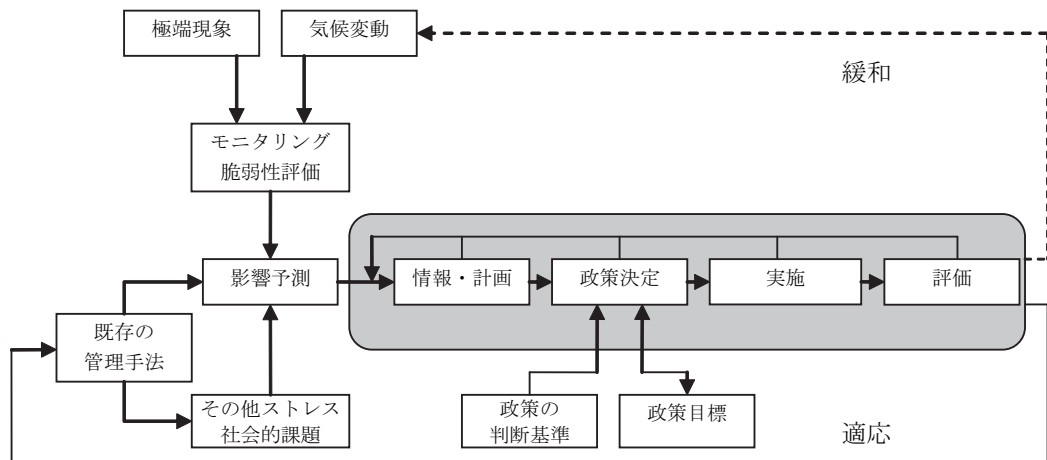


図1 適応策の計画、実施プロセス (Klein et al, 1999より改変)

評価は数世代にわたる進展を遂げている。図2に影響評価および脆弱性評価の概要を示す。初期の影響評価は、温室効果ガスの排出、大気中の温室効果ガス濃度の上昇が引き起こす気候変化とそれに伴う影響を分析対象としていた(図2の線部分)。第1世代の脆弱性評価は、気候の変動性や気候変動以外の外力を取り込んだ影響評価を行うようになった(図2の二重線部分)。これに加えて、第2世代以降の脆弱性評価は、地域の社会・経済条件などの適応能力も分析対象となり、より統合的な評価が実施されている(図2の三重線部分等)。

このように脆弱性にはいくつかの定義があるが、ここでは「あるシステムの外力に対する影響の受けやすさの程度、および影響を転換し、それに順応し、あるいは利用する能力の程度」としよう。脆弱性の要素は、第一に気温上昇、海面上昇、降雨変化などの気候変動に伴う外力の大きさ、第二に影響を受ける自然や社会の感受性、第三にその社会の抵抗力あるいは適応能力である。気候変動から大きな影響を受ける社会は、脆弱性が高いということになる。そうすると、外力が大きく、また適応能力(抵抗力)が小さいほど脆弱性

が高いと考えることができる。つまり、脆弱性を低くするには、気候変動の外力を抑えるとともに、社会の持つ適応能力を大きくすることが大切になる。

外力は、気温上昇、海面上昇など自然現象(リスク)の大きさとその発生頻度の積で表される。感受性は気候刺激から自然や社会が影響を受ける程度を表し、直接的な効果(例えば、気温の変化に反応する作物生産量の変化)や間接的な効果(例えば、海面上昇に伴う沿岸部の氾濫の頻度増加による損害)など、直接、間接、あるいは正負両方の効果が考えられる。一方、適応能力は、外力や感受性とともに関与する脆弱性を構成する要素であり、何らかの環境の変化に対して被害を軽減する自然システムや社会システムの調整能力を指す。これには、ある地域における資源、人的資源、知識・認識、情報管理、技術、社会制度、共同体、リスク管理などが反映される(Yohe and Tol, 2002)。

脆弱性評価は、様々な気候変動の影響を統合的に評価することにより、これらを相互に比較する方法である。狭義の脆弱性評価は上述のとおり、気候変動に関わる外力や適応能力などの複数の指標を統合する手法である。

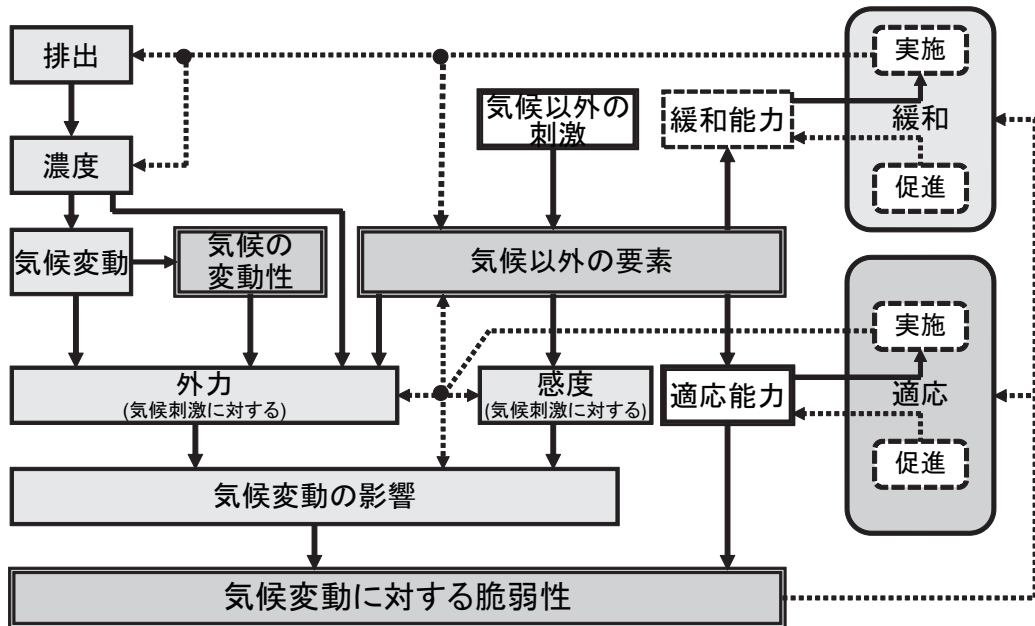


図2 影響評価および脆弱性評価 (Fussel and Klein, 2006より作成)

温暖化影響による経済損失の算定評価(環境省, 2009等)も、異なる外力の影響を金額換算して比較可能にすることから広義の脆弱性評価の一つとみなすこともできる。次節以降では、前者の評価を中心に議論を進める。

3. 脆弱性評価の現状

次に、先行研究のレビューから脆弱性評価の現状を論じよう。表1に脆弱性評価の手法と特徴を示す。脆弱性評価の手法は、様々な検討がなされているが、世界全体、地域、国内といった空間スケール、物理的脆弱性、社会・経済的脆弱性といった評価項目の種類、閾値の有無等に違いが見られる。

表2に、脆弱性評価の先行研究を整理した。表1の分類に基づき、ここでは地域、分野、評価項目、基準化の方法、統合方法、時間スケール、空間スケール、適応策の検討の有無を区別した。表2の前半は国家間比較、後半には国内比較、家計比較と空間規模が徐々に細くなるように配置している。評価

項目は、物理指標と社会・経済指標に分けられる。

脆弱性評価の現状をまとめると次の通りである。

- 農業、沿岸域などの分野ごとの脆弱性と気候変動全般の脆弱性を評価した研究に分けられる。
- 空間、時間スケールの違い、対象分野、評価項目、基準化、統合などの方法によって得られる結論が異なる。したがって、脆弱性の分析システム、属性、外的なハザード、参照時点などを明記しておく必要がある(Fussel, 2009)。
- それぞれの統合方法には長短がある。例えば、指標を相加平均することは指標間の完全代替関係を仮定することになる(Fussel, 2009)。一方、重み付け平均の場合には、代替の程度を別の方法(専門家や住民へのインタビュー・アンケート、経済評価等)で決めなければいけない。それゆえ、分析目的に応じて使い分けることになる。

表 1 脆弱性評価の手法と特徴

検討項目	特徴	
スケール	時間	・現在、過去、将来シナリオ
	空間	・国家単位、国内単位、地域・コミュニティ単位、家計単位 ・空間メッシュと行政区分
評価方法	対象分野	・沿岸域、農業、水資源、生態系、健康等
	評価項目	・物理的脆弱性、社会・経済的脆弱性
	基準化	・非連続型。例えば各指標を 0-5 段階に得点付けする。 ・連続型。例えば、UNDP(2007)のHuman development indexのように基準化する。
	統合	・相加平均・相乗平均（均等配分）：長所；透明性が高く、わかりやすい。短所；全ての指標が等価で良いという根拠が乏しい。 ・重み付け平均（傾斜配分）：長所；厳密性が高い。短所；指標を重み付けすることになるが、その妥当性を検証しなければいけない。重み付けを決めるためには、階層分析法 (AHP) や経済評価などを使う。
比較	・絶対比較：長所；エコロジカルフットプリント（例えばWackernagel and Rees, 1996）のように時系列比較ができる。短所；そもそも閾値の設定が難しい。 ・相対比較：長所；同一時点での地域別比較やランキング形式で表現できる。短所；地域を越えた時系列分析はしづらい。	

- ・現時点では、一部の研究(Vincent, 2007等)を除いて異なる空間スケールの接合、比較を試みた研究事例は少なく(Eriksen and Kelly, 2007)、今後の進展が求められる分野の一つである。
- ・一時点のスナップショットや静的な脆弱性を計測する研究から、時点間にわたる動的な変化を評価する研究が求められつつある。
- ・適応策の効果を個別プロジェクトだけでなく、地域や国全体などのマクロレベルで評価した研究事例は少ない。動的な脆弱性評価が確立されることは、適応策の効果を評価する場合にも有益である。
- ・脆弱性評価は、複雑な統合化よりも頑健性(robustness)、透明性(transparency)、検証可能性(verification of the findings)などが重視される(Eriksen and Kelly, 2007)。気候変動の対応策を検討する場合には、脆弱性評価によって地域や分野の全体的な傾向を掴

むことと同時に、その背景にある個々の要因を把握することの双方が要求される。したがって、高精度、高分解能の予測技術等によって個別指標を精緻化することが不可欠であり、それらに基づいて出来るだけ明解な手法で脆弱性を評価すべきである。

気候変動は、様々な分野へきわめて複雑な影響を及ぼす。物理影響の評価に加えて、社会・経済影響評価の知見に基づいて、脆弱性評価を推進する過程そのものが、脆弱性評価の信頼度や気候変動への理解を促すことになるであろう。

表 1 脆弱性評価の手法と特徴

	評価項目		基準化 (1)、連続 (2)	統合	時間 過去、現在、将来	空間	適応策 有(1)、無(0)および 適応効果	地図化 有(1)、 無(0)	備考
	分野	物理指標 社会・経済指標							
Moss et al. (2001) Vulnerability-resilience indicators	世界、国内、家計等	沿岸域、農業等	社会・経済指標	2	相加平均	過去、現在、将来	国単位	0	Yohe et al. (2006)と同様。SRESシナリオを検討。本グループはその後144種類の脆弱性マップをWeb公開。
Yohe et al. (2006) Vulnerability-resilience Indicator Prototype (VRIP)	世界	気候変動全般	物理指標 海面上昇、安全な水、穀物	2	相加平均	過去 (1960、1990)、将来 (2050、2100)	国単位	0	103ヶ国。主たる目的は、適応能力の算出で外力は温度変化のみ。 $V_i(t) = \Delta T_i(t)/AC(t)$ 。Brenkert and Malone (2005) は世界38カ国とインドの州単位。
Diffenbaugh et al. (2007) 21st century socioclimatic exposure	世界	気候変動全般	物理指標 海面上昇、安全な水、穀物	1	相加平均	将来 (2071-2100)	国単位	0	社会気候への曝露-気候変動指標*(人口指標+富指標+貧困指標)。 SRES A1Bシナリオ。
Brooks and Adger (2003)	世界	風水害全般	物理指標 気候変動による様々な災害死者数	1	統合せず リスク指標毎にラ ンキング	1970-2000年まで10年ごと	国単位	0	災害死者に基づく様々なリスク指標5つに分けて、国別の順位付け。
Brooks et al. (2005)	世界	風水害全般	物理指標 EMDATによる様々な災害死者数	2	統合せず リスク指標毎にラ ンキング	過去	国単位	0	災害死亡率を被説明変数、説明変数としてランキングに重要な13指標を選出。その指標の種類毎に国別順位をつける。どの指標で見ても脆弱な国を順位付け。
Kaly et al. (2004)、 SOPAC (2005) Environmental vulnerability indicator (EVI)	世界 太平洋島 嶼国	気候変動全般	物理指標 自然環境 (風、干ばつ等)	1	相加平均	過去	国単位	0	50指標 (32のハザード、8の抵抗力、10の被害)を7段階に評点。気候変動のサブ指標は13。

Yusuf and Francisco (2009) Climate change vulnerability index	東南アジア 530地域	気候変動全般	気候ハザード(干ばつ、台風、海面上昇、洪水、地滑り)	HDI、貧困、ジニ係数、灌漑、電化率、道路密度、通信	2	相加平均	現在(2005)	州、省単位	0	1	多重ハザードマップ、人口密度、適応能力による総合的な脆弱性評価。1kmメッシュの指標も含む。
Yamada et al. (1995) Sustainable capacity index	西サモア、フィジー	沿岸域、海面上昇	標高、海水面、生態系等	人口、インフラ構造物、住居等	1	統合せず	現在、将来	市町村	1 (考察で言及)	0	あえて統合せずレザードナーチャート化。評価者が各項目の指針に沿って、3から-3までの評点。
Swanson et al. (2007) Adaptive capacity	カナダ	農業(適応能力中心)	なし(研究背景として利用)	経済資源、技術(水アクセス技術、IT)、情報、インフラ、慣習、公平性	2	相加平均	現在	州単位	0	1	農業の適応能力の定量化が中心。6要素の統合。気候変動の物理影響は研究背景として利用。
Brenkert and Malone (2005) Vulnerability-resilience indicator prototype (VRIP&VRIP2)	インド	気候変動全般(適応能力中心)	海面上昇、安全な水、穀物等	出生率、寿命、GDP/cap、識字率等	2	相加平均	現在(1990周辺)	州単位	0	0	世界38カ国とインドの州単位、Yohe et al. (2006)は103ヶ国。
O'brien et al. (2004)	インド	農業	土壌質、土壌の深さ、地下水等	社会・経済(識字率、ジェンダー等)、技術(灌漑、インフラ等)	2	相加平均	現在(1990周辺)	市町村単位(インド466地域)	0	1	「二重の外力」として、①インドのグローバル化による輸入競争の影響、②気候変動の影響(輸入競争と低価格化とモンスーン)。
Mohan and Sinha (2010) (WWF) Livelihood vulnerability index	インド、ガンジス流域	生計への脆弱性	平均気温、降水、穀物生産量、灌漑様式等	性比、人口構成、識字率、バイオマス依存度、水へのアクセス	2	相加平均	現在(2000周辺)	市町村単位	0	1	平均気温、降水、農業等。IPCC(2007)の定義に従う脆弱性評価。
Dinh et al. (2010) Coastal vulnerability index (CVI)	ベトナム 県別	沿岸域	沿岸域の種類、斜面角度、海面上昇速度、海岸線変化、潮位変化	なし	1	重み付け 相加平均	現在(2005周辺)	市町村単位	0	1	沿岸域脆弱性。海面上昇に関する物理指標5つを統合。1-5段階で重み付け平均と相乗平均の2通りを実施。
Mai et al. (2010)	ベトナム ハロン市	沿岸域	生態系(湿地、マングローブ、森林)	都市化、経済活動(観光、製造、湾港)	1	重み付け 平均	現在(2005周辺)	30mメッシュ	0	1	EVIやCVIを参考に各指標を5段階に評点し、それをAHPによる重み付け平均。
Vincent (2007) Household adaptive capacity index (HACI)	アフリカ、南アフリカ(リンボボ)	農業(適応能力中心)	なし(研究背景として利用)	家畜資産、家計従事者の割合、社会资本、資源へのアクセス、家の質等	1	重み付け 平均	現在	家計単位	0	0	4段階評価。論文ではアフリカのNational adaptive capacity indexと南アフリカのHACIの接続も議論する。

4. メコンデルタにおける脆弱性評価の提案

4.1. メコンデルタにおける気候変動の影響と脆弱性

アジア太平洋地域は、洪水や渇水、台風強度の増大などが顕在化しており、世界のなかでも気候変動に最も脆弱な地域の一つに挙げられる (IPCC, 2007)。急激な経済成長や都市部の人口増加により、さらに気候変動の悪影響を受けるリスクの増加も予想される。アジア太平洋地域の人口は2000年の37億人から2050年頃には52億人に達し、その大半が沿岸域に集中すると予想されている (UNFPA, 2011)。

本節は、アジア太平洋地域のなかでも、ベトナムのメコンデルタにおける脆弱性評価を提案する。メコンデルタでは海岸浸食、高潮浸水、河川氾濫などが既に起こっており、気候変動によってさらに悪化することが懸念されている。一方で、この地域での急激な経済成長はインフラや教育等の整備を通じた適応能力の向上をもたらし、脆弱性を低減する効

果が期待される。当該地域で適応策を実施するには、気候変動およびそれに伴う自然災害と社会・経済的な影響を組み合わせた脆弱性評価が求められる。

まず、本節が脆弱性評価の対象とする外力と影響伝搬を最近の研究事例 (Yasuhara et al., 2007, 2010, 2011a; 安原他, 2009) を参考にして整理しておこう。図3に示すとおり、本稿はメコンデルタの自然災害として高潮による河川氾濫、地盤沈下、海岸浸食等に注目する。気候変動の影響や被害の発現には、いくつかの要素が関連している。海面上昇、台風、降雨の増大は高潮を引き起こし、さらに高潮や地盤沈下は河川氾濫とそれに伴う浸水を増大させる引き金となる可能性がある。降雨の増大は、海岸や河川の堤防の侵食を招くことが懸念されている。また、河川堤防では、降雨の増大は浸水の増大にもつながる。気候変動以外にも沿岸漂砂、構造物等による砂礫供給の減少、地下水くみ上げによる地盤沈下などが海岸浸食や高潮による浸水を引き起こす。これらの外力が複合することによ

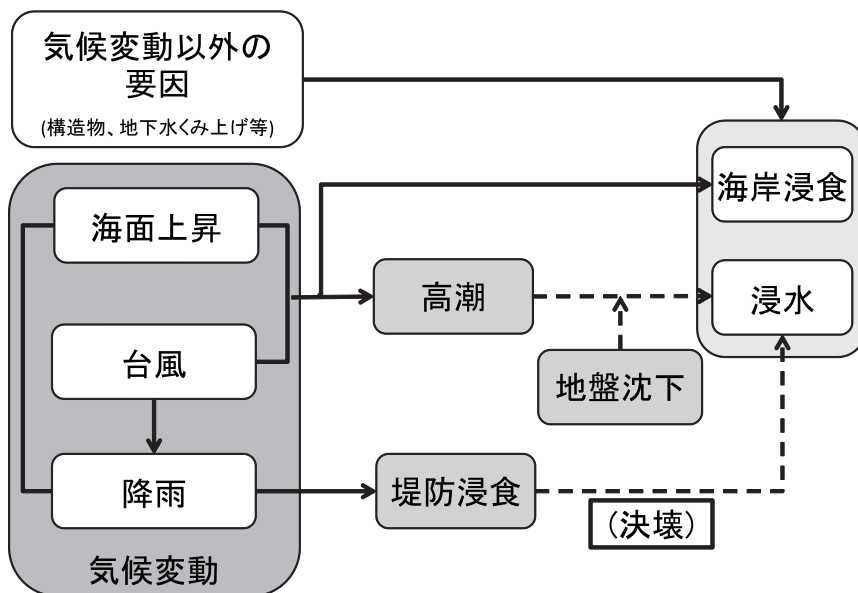


図3 メコンデルタにおいて検討する自然災害の影響伝搬

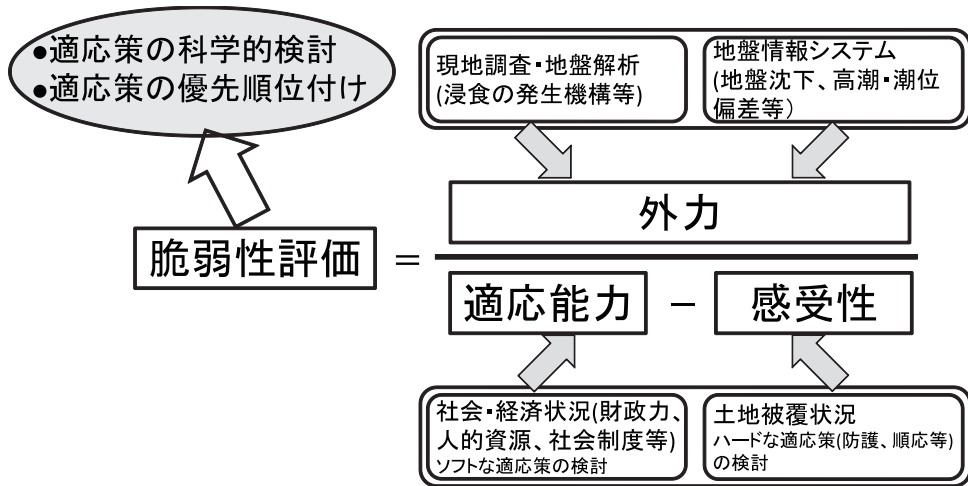


図4 メコンデルタにおける脆弱性評価の概要

て、脆弱性が一層高まると考えられる。

図4は、脆弱性、外力、感受性、適応能力(抵抗力)の関係を示している。外力、感受性、適応能力に関して物理指標、社会・経済指標を取り込んだ総合的な脆弱性評価によって適応策の科学的検討や優先順位付けの判断材料となることが期待される。

4.2. 脆弱性評価の設計

メコンデルタにおける脆弱性評価の具体的な手順は次の通りである。

1) データ収集、境界条件の決定

脆弱性評価のためには、まずそれぞれの指標に関する情報をデータベース化しておく必要がある。そのため、はじめに境界条件を定めて利用可能なデータを収集する。次に、空間、時間のスケールを揃えたデータベースを作成する。

具体的には、外力、感受性、適応能力に分けてそれぞれのサブ項目を選定し、地域ごと

にその収集、整理を行う(表3参照)。データベース化の際にはデータの有無、空間、時間スケールがデータや地域の特性によって異なることを考慮しなければならない。例えば、外力となる物理指標の多くは $0m \times 0m$ といった空間メッシュに区分されるのに対して、社会・経済指標は市町村などの行政単位で整備されている。時間のスケールも時間単位(気温、降雨等)、月単位(気温、降雨、植生等)、年単位(標高、所得、教育水準等)などが存在する。これらを整備することが最初の作業となる。

ここでは当面メコンデルタの市町村単位の脆弱性評価を目指している(ベトナムの「県」が、日本の市に近い行政区分である)¹⁾。すなわち、市町村単位の脆弱性評価を行うためには、市町村単位の社会・経済指標と、より高解像な物理指標の整備を組み合わせることになる。

2) 計測・統合

1) ベトナム行政区分は、5中央直轄市(ハノイ、ホーチミン、ダナン、ハイフォン、カントー)および58省(第一級行政区)からなる。省は日本の県に人口規模等が近い行政区分で、県(第二級行政区)、社(第三級行政区)と続く。

表3 脆弱性評価に向けたデータベースの概要

	外力		感受性	適応能力		脆弱性
	高潮	内水面浸水		社会・経済	インフラ	
各指標	海面上昇、台風強度、潮位偏差等	地盤情報(標高、地盤沈下量)等	土地被覆、植生(マングローブ等)	GDP、教育水準、寿命、人口	堤防、ライフライン	
地域A						
地域B						
...						

表3のようなデータベースを作成した後は、脆弱性評価のための指標を特定し、基準化を行う。各指標は、Swanson et al.(2007)等の方法を参考にし、地域の中での最大値と最小値を利用して基準化を行う。この方法は、UNDP(2007)のHuman development indexに似ており、離散型ではなく連続型の数値が算出されることが利点である。指標によって大小関係が脆弱性に与える意味合いが異なるので、(1)、(1')式のように区別して基準化する。

高い方が脆弱性を増す指標：

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i^{Min}}{X_i^{Max} - X_i^{Min}} \quad (1)$$

低い方が脆弱性を増す指標：



$$(1')$$

Z_{ij} ：地域 j において基準化した気候ハザード i

X_{ij} ：地域 j における気候ハザード i (基準化前)

X_i^{Max} ：気候ハザード i の地域全体の最大値

X_i^{Min} ：気候ハザード i の地域全体の最小値

脆弱性 V_j は、(2)式のように複数の気候ハザードを統合して得られる。

$$V_j = \sum w_i \cdot Z_{ij} \quad (2)$$

V_j ：地域 j の脆弱性

w_i ：各指標のウェイト

3) 適応効果評価

適応効果評価は、適応策を実施した場合の脆弱性の低減効果を示す。(3)式の通り、脆弱性評価が確立されれば、適応策の有無による効果の評価も実施可能となる。メコンデルタでは堤防高上げ、堤防への浸水補強といった技術的な適応策とともに、経済、教育水準の向上、防災教育などのキャパシティ・ディベロップメント (capacity development) が社会的な適応策に挙げられる。

$$Ad_j = (V_j^\alpha - V_j^0) / V_j^0 \quad (3)$$

Ad_j ：地域 j の適応効果

V_j^α ：適応策 α を講じた場合の脆弱性

V_j^0 ：適応策を実施しない場合の脆弱性

以上、脆弱性評価および適応効果評価を提案した。分析結果は数値だけでなく、グラフ化や地図化による可視化を行うと理解や比較がしやすくなる。このように脆弱性評価をアジア太平洋地域で適用するには、対象地域、対象分野等を絞り込んだ上で各指標のデータベース構築が必要となる。そして、データや情報を得るためには現地の研究機関等とのネットワークづくりが欠かせない。一方で、当該地域においては国際機関をはじめとする政策志向のネットワークは散見されるが、正確な情報やデータを集約するための研究ネッ

トワークの整備は不十分である(Yasuhara et al., 2011b)。本稿では評価手法の整理と提案を行ったが、筆者の研究グループでは現地調査や研究会合を通じてその研究基盤づくりを行っている最中であり、分析結果については今後の研究に譲らなければならない。

5. おわりに

本稿は、まず、気候変動に対する脆弱性評価に関する文献調査からその現状と課題を整理した。そして、空間や時間スケールの違い、対象分野、評価項目、基準化、統合などの方法によって得られる結論が異なること、それゆえ評価の頑健性、透明性、検証可能性を重視すべきことなどを論じた。脆弱性評価は、脆弱な地域や分野の特定、適応策の実施を行うために主に政策決定者や地域住民を対象にした統合評価手法である。得られた数値やランキングのみに固執するのではなく、これらによって気候変動の影響の全体像を掴んだ上で、地域や分野によって影響が異なる原因を的確に理解することが現地の状況に即した適切な適応策を講じるためには大変重要である。

次に、アジア太平洋地域、特にメコンデル

タにおける脆弱性評価に向けた方法論の設計を行った。繰り返しになるが、脆弱性評価は総合的な取り組みが不可欠である。分析にあたっては、情報収集のためのネットワーク形成、データベースの収集、構築を進めつつ、その評価方法の確立を行わねばならない。評価手法の確立には、その妥当性を検討するための絶え間ない議論や検証が重要である。データの整合性や指標の解釈、適応策のメニューの整理など、その都度検証を行い、より頑健なモデルづくりをすることが不可欠である。本稿は未だその途上にあるが、提案にしたがって今後も研究を推進していく予定である。

謝辞

本稿は、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」(研究代表者：茨城大学三村信男)および科学研究費補助金若手研究(B)「東アジアにおける持続可能な気候変動への緩和策・適応策の統合評価」(研究代表者：茨城大学田村誠)の成果の一部である。

参考文献

- Brenkert, A.L. and Malone, E.L. (2005). Modeling Vulnerability and Resilience to Climate Change: A Case Study of India and Indian States. *Climatic Change*, 72(1-2), 57-102.
- Brooks, N. and Adger, W.N. (2003). *Country Level Risk Measures of Climate-related Natural Disasters and Implications for Adaptation to Climate Change*. Working Paper 26. Norwich, Tyndall Centre for Climate Research, University of East Anglia.
- Brooks, N., Adger, W.N., and Kelly, P.M. (2005). The Determinants of Vulnerability and Adaptive Capacity at the National Level and the Implications for Adaptation. *Global Environmental Change*, 15 (2), 151-163.
- Diffenbaugh, N.S., Giorgi, F., Raymond, L., and Bi, X. (2007). Indicators of 21st Century Socioclimatic Exposure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(51), 20195-20198.
- Dinh, T.H., Tran, T.D.H., Pham, V.S., Pham, T.H.D., Ham, D.H., Vu, X.H., and Pham, T.K.O. (2010). Smart Response to Climate Change - Coastal Vulnerability Index for Vietnam. *Proceedings of International Conference on the Role of University in Smart Response to Climate Change*, Vietnam National University, Hanoi, 11-13 December, 2010.
- Eriksen, S.H. and Kelly, P.M. (2007). Developing Credible Vulnerability Indicators for Climate Adaptation Policy Assessment.

- Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(4), 495-524.
- Fussler, H.-M. (2009). *Review and Quantitative Analysis of Indices of Climate Change Exposure, Adaptive Capacity, Sensitivity, and Impacts*. World Bank.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press.
- Kaly, U.L., Pratt, C.R., and Mitchell, J. (2004). *The Demonstration Environmental Vulnerability Index (EVI)*. SOPAC.
- Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., and Mimura, N. (1999). Coastal Adaptation to Climate Change: Can the IPCC Technical Guidelines be Applied?. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4, 239-252.
- Mai, T.H., Luu, V.D., and Nguyen, T.H.H. (2010). Vulnerability Assessment in Coastal Cities of Viet Nam for Smart Response to Climate Change, Case Study in Ha Long City. *Proceedings of International Conference on the Role of University in Smart Response to Climate Change*, Vietnam National University, Hanoi, 11-13 December, 2010.
- Mohan, D. and Sinha, S. (2010). *Vulnerability Assessment of People, Livelihoods and Ecosystems in the Ganga Basin*. WWF.
- Moss, R.H., Malone, E.L., and Brenkert, A.L. (2001). *Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach*. U.S. Department of Energy.
- O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., and Tompkins, H. (2004). Mapping Vulnerability to Multiple Stressors: Climate Change and Globalization in India. *Global Environmental Change*, 14, 303-313.
- SOPAC. (2005). *Building Resilience in SIDS: The Environmental Vulnerability Index*. SOPAC.
- Swanson, D., Hiley, J., and Venema, H.D. (2007). *Indicators of Adaptive Capacity to Climate Change for Agriculture in the Prairie Region of Canada: An Analysis Based on Statistics Canada's Census of Agriculture*, International Institute for Sustainable Development.
- Tamura, M. and Mimura, N. (2011). Adaptation and Mitigation Strategies in Response to Climate Change, In: Sumi, A., Mimura, N., and Masui, T. (eds.), *Climate Change and Global Sustainability: A Holistic Approach*, United Nations University Press, pp.133-149.
- Wackernagel, M. and Rees, W.E. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers.
- Yamada, K., Nunn, P.D., Mimura, N., Machida, S., and Yamamoto, K. (1995). Methodology for the Assessment of Vulnerability of South Pacific Island Countries to Sea-level Rise and Climate Change. *Journal of Global Environment Engineering*, 1, 101-125.
- Yasuhara, K., Murakami, S., Komine, H., Mimura, N., and Recio, J.M. (2007). Influence of Global Warming on Coastal Infrastructural Instability. *Sustainability Science*, 2(1), 13-26.
- Yasuhara, K., Komine, H., Murakami, S., Chen, G., and Mitani, Y. (2010). Effects of Climate Change on Geo-disasters in Coastal Zones. *Journal of Global Environmental Engineering*, 15, 15-23.
- Yasuhara, K., Komine, H., Yokoki, H., Suzuki, T., Mimura, N., Tamura, M., and Chen, G. (2011a). Effects of Climate Change on Coastal Disasters: New Methodologies and Recent Results. *Sustainability Science*, 6(2), 219-232.
- Yasuhara, K., Tamura, M., Ling, F.H., Prabhakar, S.V.R.K., and Herath, S. (2011b). Overcoming Barriers to Climate Adaptation: Role and Comparison of International Networks. *Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser.G (Environmental Research)*, 67(6), II-203-212.
- Yohe, G. and Tol, R.S.J. (2002). Indicators for Social and Economic Coping Capacity: Moving towards a Working Definition of Adaptive Capacity. *Global Environmental Change*, 12(1), 25-40.

- Yohe,G., Malone,E., Brenkert,A., Schlesinger,M., Meij,H., Xing,X., and Lee,D.(2006). *A Synthetic Assessment of the Global Distribution of Vulnerability to Climate Change from the IPCC Perspective that Reflects Exposure and Adaptive Capacity*. CIESIN (Center for International Earth Science Information Network), Columbia University.
- Yusuf,A.A. and Francisco,H.A.(2009). *Climate Change Vulnerability Mapping for Southeast Asia*. Economy and Environment Program for Southeast Asia.
- UNDP(2007). *Human Development Report 2007/2008: Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World*. UNDP.
- UNFPA(2011). *2011 State of World Population Report*, UNFPA.
- Vincent,K.(2007). Uncertainty in Adaptive Capacity and the Importance of Scale. *Global Environmental Change*, 17(1), 12-24.
- 環境省(2009)『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S-4「温暖化影響総合予測プロジェクト」.
- 安原一哉・小峯秀雄・村上哲・陳光齊・三谷泰浩・田村誠(2009)「温暖化による気候変動が地盤災害に及ぼす影響」『地球環境』, 14(2), 247-256.

(たむら・まこと 本学地球変動適応科学研究機関准教授)