

47. 温暖化研究データベースに基づく影響研究の現状把握

ANALYSIS FOR PRESENT STATUS OF IMPACT STUDIES BASED ON RESEARCH DATABASE

福原直樹*・三村信男**

Naoki Fukuhara, Nobuo Mimura

ABSTRACT; Present status of the impact studies is not completely apparent, though a number of studies have been performed in the global warming and climate change field. Such overview is essential to develop a national research plan to assess the impacts on the whole nation of Japan, which is aimed at by Global Warming Research Initiative launched by The Council for Science and Technology Policy. In order to fill this gap, a research database is developed focusing on exposure areas, assessment methods, vulnerability, and countermeasures. This paper presents the structure of the database and obtained results. There is difference in the research activities and achievement among areas; areas with advanced achievements are ocean, coastal zones, natural ecosystem and agriculture. This database can also be used to discuss the threshold in terms of the tolerable limits of the adverse impacts of climate change.

KEYWORDS; global warming, impact studies, research database, Japanese studies, impact threshold

1. はじめに

地球温暖化の影響に関して多くの研究が行われてきたが、研究成果の俯瞰的把握は必ずしも十分ではない。総合科学技術会議は、環境分野における研究推進の一環として5つの領域で研究イニシャティブを立ち上げており、地球温暖化領域でも2002年に「地球温暖化研究イニシャティブ」がスタートした（総合科学技術会議環境担当議員ほか、2003）。地球温暖化研究イニシャティブが担う大局的な研究方針の提案には、わが国の温暖化影響・リスク研究に関する見通しのよい現状認識（研究マップ）が不可欠である。

そのため、日本への影響を中心にして影響事象、評価手法、対応策などに関する研究データベースの構築を試みた。本研究では、過去の研究を水資源・水環境、陸域生態系、農林水産業、海洋、沿岸域、国土保全・防災・人間居住、産業・エネルギー、人の健康といった分野ごとに分類し、影響研究の分布と内容を整理することによって、現在までに何が分かっているかを把握することとした。それによって、分野ごとの研究活動の状況が把握されるとともに、データベースを用いて温暖化・気候変動に対する脆弱性の内容や社会が耐え難い影響の限界（閾値）などを分析できる。

2. データベースの構成

本研究ではリレーショナルデータベース形式を採用した。データベースに取り込むレコードの項目は、①影響分野(9分野)、②研究内容(11項目)、③対象とする地域あるいは空間スケール(7レベル)、④主要な知見・成果、⑤参考論文・参考文献、⑥研究者、⑦所属機関、⑧出典・発表先、⑨発表年の9つとした。影響研究の文献を「地球温暖化の日本への影響2001」（環境省地球温暖化問題検討委員会温暖化影響評価

* 茨城大学大学院都市システム工学専攻 Graduate School of Engineering, Ibaraki University, **茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター Center for Water Environment Studies, Ibaraki University

表・2、3 に、研究内容と対象とする地域あるいは空間スケールの区分の詳細を示している。研究内容は、影響検出、要素研究から始まり、適応策・対応策、アジア・太平洋の影響評価、世界の影響評価に至る 11 項目に分類した。

3. データベースの構造

図-1に本研究のデータベースの構造を示す。本データベースは、基本的には研究成果テーブルというトランザクションテーブルと影響分野、研究内容、空間スケールといった各種マスターテーブルで成り立っている。相互の関連は、研究成果テーブルの左側は一对多、右側は各マスターテーブルとの間にリンキング

表-1 影響分野の構造

影響分野(大)	影響分野(中)	影響分野(小)
海洋	物理的影響	潮水運 溶存酸素濃度 対流 海水 海面変化 潮流 濁流 潮差
	生態系	植物プランクトン 動物プランクトン 高次生態系
	沿岸海域	サンゴ礁 マングローブ デルタ 砂浜海岸 河口・干潟域
	海洋汚染	富栄養化 人工有機化合物 海岸保全構造物 沿岸防災施設 砂礫海岸 デルタ 養浜工 埋填 マングローブ海岸
沿岸域	海岸構造物	海面変化 水没・氾濫 沿岸域管理制度 災害保険制度
	沿岸環境	人口・資産 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
	物理的影響	人口・資産 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
	法制度	人口・資産 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
	経済評価	人口・資産 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
国土保全・防災・人間居住	社会基盤・社会システム	社会脆弱性 社会感受性 人口・資産 交通施設 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
	インフラ施設	社会脆弱性 社会感受性 人口・資産 交通施設 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
	人間居住環境	社会脆弱性 社会感受性 人口・資産 交通施設 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
産業・エネルギー	経済評価	社会脆弱性 社会感受性 人口・資産 交通施設 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
	第三次産業	社会脆弱性 社会感受性 人口・資産 交通施設 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
	エネルギー需要・消費	社会脆弱性 社会感受性 人口・資産 交通施設 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産
	エネルギー供給	社会脆弱性 社会感受性 人口・資産 交通施設 生活環境施設 国土保全施設 基礎地盤 都市温暖化 大気汚染 都市計画 環境資産

表-2 研究内容分類

	研究内容
1	影響後出
2	要素研究
3	影響予測手法
4	ケーススタディ
5	影響の全国評価
6	影響の国値
7	脆弱性評価
8	適応能力・適応可能性
9	適応策・対応策
10	アジア・太平洋の影響評価
11	世界の影響評価

表-3 空間スケール分類

	対象とする地域あるいは空間スケール
1	Global
2	複数国レベル
3	国レベル
4	複数都道府県レベル
5	都道府県レベル
6	市町村レベル
7	観測地区レベル

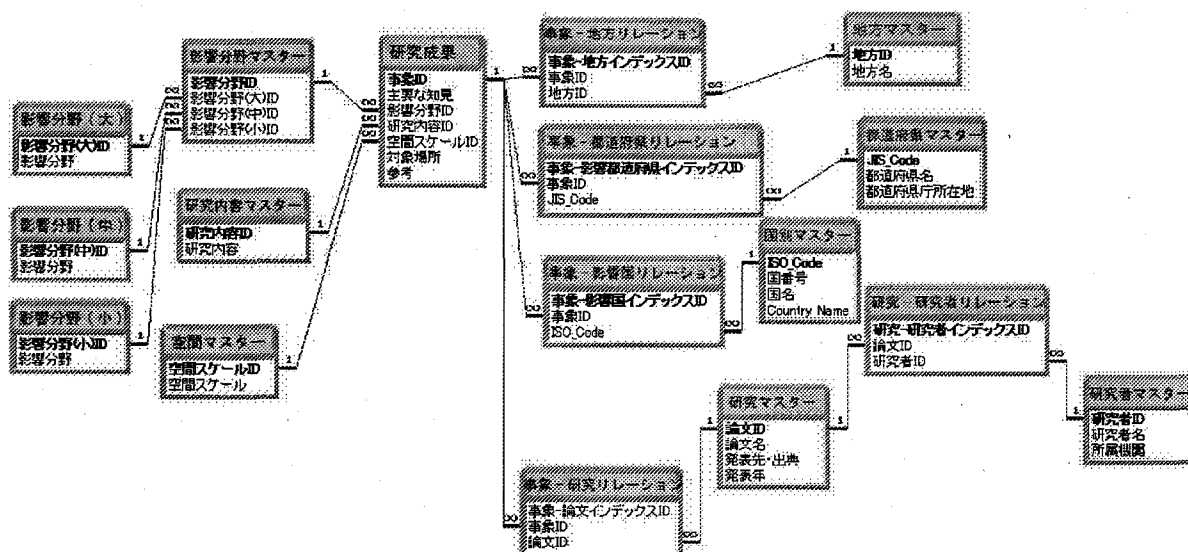


図-1 データベースの構造

(連絡) テーブルを作成し、多対多のリレーションを設定した。このデータベースの構成要素は、最初に選定した項目のみであるが、新しい項目を加える必要が出てくれば、新たにテーブルを作成し、それに応じたリレーションを設定し直すことで追加できる。

本データベースでは条件付き検索が可能であり、抽出したデータの数も表示される。

4. 分野別の現状

今回データベース化した分野は、海洋、沿岸域、国土保全・防災・人間居住、産業・エネルギーである。データベースを用いて、表-4に示すように対象4分野における研究成果を集計した。表中の数字は、その分野で記録された研究の数である。この表および研究内容から分野別の特徴を述べる。

表-4 4分野における研究の現状

	D.海洋	E.沿岸域	F.国土保全・防災・人間居住	G.産業・エネルギー
1.影響検出	34	4	1	1
2.要素研究 影響予測手法 ケーススタディ	24	13	6	12
3.影響の全国評価	7	4	1	2
4.脆弱性・リスク評価 影響の閾値 脆弱な部門・地域 適応可能性	17	2	3	0
5.適応策・対応策	3	13	5	0
6.アジア・太平洋地域の影響評価	5	10	1	0
7.世界の影響評価	2	0	1	0

(1) 海洋環境

海洋分野で進んでいる研究の多くは影響検出と要素研究である。深層水温の長期的変化や南海性の魚類の北上、サンゴ礁の白化など影響検出に関する研究報告が多く見られる。このことは、海洋環境が既に温暖化によって変化し始めており、研究者がそのシグナルをとらえつつあるといえるのかも知れない。

物理的影響については海水温の上昇と海面上昇を対象とした研究成果が多くを占めている。陸地に対する相対的な海面水位の変化には、地殻変動や地盤沈下、海流の変化なども反映するため、海面上昇の一方で海面降下が検出されている場所もあることには注意を要する。海水温・海水面変化に関する研究が多い反面、海流や波の変化に関する研究は少ない。

海洋生態系では、大部分がプランクトンについての研究成果である。日本周辺への影響評価では外国の研究成果が応用されている。海面上昇の影響評価を行っている研究もあるが、生態系の場合には物理的環境変化を食物連鎖など生物活動への影響にブレークダウンすることが必要になる。最近、農林水産省のプロジェクト「地球温暖化が農林水産業に与える影響の評価及び対策技術の開発」(代表：農業環境研究所林陽生)の中でわが国周辺の魚種の変化や漁場環境影響についての研究成果が発表されており、注目される。

沿岸海域に対しては砂浜海岸に関する研究が多数を占めており、砂浜の侵食機構、侵食面積、海岸線変化のパターンに関する研究が主である。砂浜に関しては、影響メカニズムや将来の定量的予測についてある程度情報がそろっている状況である。一方、河口・干潟域に関しては、分布や立地条件などの現況は把握されているが、影響や将来予測に関する研究は少ない。東南アジア地域を対象にした研究では、サンゴ礁、マングローブ、デルタの沿岸環境に着目した研究が非常に多い。

人工有機化合物(POPs)に対する研究は世界規模を対象に行なわれている。内容は全て過去の排出に起因する影響の検出と要素研究であり、将来予測を行った研究は少ない。

(2) 沿岸域

沿岸域も従来活発に影響評価研究が行われてきた分野であり、とくに適応策やアジア・太平洋地域を対象にした研究が多いのが特徴である。沿岸域の研究では、海面上昇や台風による高潮を外力として、臨海部の災害ポテンシャルの増加、水没危険性、海岸侵食の激化、塩分の侵入などに起因する影響評価が取り組まれてきている。わが国では、災害ポテンシャルや砂浜侵食について全国評価が行われ、影響のスケールが把握

された。アジア・太平洋地域を対象にしては、海面上昇とサイクロンによる高潮の水没・氾濫危険性が大きいと認識されており、国別あるいは広域での影響評価が行われている。また、海岸構造物については従来 1m の海面上昇を仮定して堤防、護岸などの嵩上げや補強に関する研究が行われているが、IPCC の将来予測の変化に伴って異なる予測値に対応した研究は多くない。海岸侵食対策としては養浜工が着目されている。

他の研究成果としては、海面上昇に対する適応策・対応策の検討が挙げられる。IPCC 等が適応策として防護、順応、計画的撤退という 3 つの基本戦略を提案したことから、それぞれの技術・政策メニューを検討した研究が多い。わが国では沿岸域の土地利用密度の高いので、海岸地域の利用継続のための防護や順応が主体となっている。また、気候変動への対応は一過性ではなく継続的に対応する必要があるため、制度的な対応の枠組みとして総合的沿岸域管理が取り上げられている。

影響の経済評価が行われてきたのもこの分野の特徴である。海面上昇に対して港湾施設・海岸構造物を現在の機能水準に維持するための費用の試算が行われた。さらに、一般均衡モデルを用いて海面上昇の費用便益分析も行われた。

(3) 国土保全・防災・人間居住

国土保全・防災の分野では、降雨の変化に伴う対洪水安全性や水資源管理、海面上昇の影響評価と防護対策などに関する研究が行われてきた。降雨の変化については正確でかつ空間分解能の十分な予測結果がなかったためにシナリオアプローチや統計値の外挿による降雨シナリオの作成が行われた。しかし、最近地球シミュレーターによる地域気候モデルの計算結果が出始めているので、今後一層の展開が期待できる。

防災・リスク管理については、インフラ施設による対応策の検討が中心で、防災施設によってリスクを回避、減少、分散するシステムの構築、さらに細かい技術メニューが抽出されている。インフラ施設が受ける影響については、温暖化の影響要因及びインフラ施設別に表の形でまとめられている。沿岸の防災施設・海岸構造物に対しては系統的な影響評価が行われており、安全率の低下や機能保持のために必要な嵩上げ・補強量に関する知見が得られている。海面上昇の影響の 1 つとして、地下水への海水侵入・地下水位の上昇による地盤支持力の低下、液状化危険度の増大などの影響評価が行われている。

人間居住環境については、地盤やヒートアイランド、諸外国の都市計画レベルの対応策も取り上げられている。地域文化を含めて今後は一般の市民生活と関連づけた研究を強化する必要がある。

(4) 産業・エネルギー

産業・エネルギーに関する研究例は全体的に少ないが、その中ではエネルギーの供給と需要・消費に関する研究が見られる。エネルギー供給では火力・原子力発電所の発電出力と冷却水温との関係や、水資源・降雪の水力発電に対する影響などの研究成果が発表されている。また、電線の荷重設計条件や雷の被害など、異常気象の送電系への影響についても研究されている。他方、需要サイドでは、夏季の冷房需要の増加、夏物商品の生産増加による電力需要の増加などについての研究成果があげられる。またヒートアイランドと関連づけた研究も行われている。

第三次産業については夏物商品の消費量変化の研究成果が挙げられるが、運輸・通信・サービス業における変化や対策の研究は少ない。近年、天候デリバティブ（金融派生商品）の取り扱いが始まったことから、保険によるリスク分散などに関する研究も現れるであろう。

5. 影響閾値に関する分析

温暖化対策における究極の国際的目標は、「気候系に対して、危険な人為的干渉をおよぼすこととならない水準において、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化すること」であり、それは生態系の適応や食料生産、経済開発が脅かされないような形と期間内に達成されなければならないとされている（国連気候変動枠組み条約第 2 条）。京都議定書の第 1 約束期間（2008～2012 年）の先にどのような対策を行うべきかについても議論が始まっているが、その根底には温暖化の危険な水準をどう認識するかという問題がある。これは、影

表-5 温暖化の感受性・閾値(気温上昇)

気温上昇	水資源 水環境	陸域 生態系	農林 水産業	海洋	産業 エネルギー	健康	影響例	影響分野
1.0～1.9℃	6	6	1		1		・多くの河川において洪水ピーク流量が10～40%増加 ・ライチョウの分布の約40～60%が消失 ・高山草地群落・亜高山帯針葉樹林が減少 ・夏物商品の消費が約5%増加	水資源・水環境 陸域生態系 陸域生態系 産業・エネルギー
2.0～2.9℃	1	5	2	1			・針葉樹林帯が現在の1/4に減少 ・害虫のコナガの世代数が2世代ほど増加	陸域生態系 農林水産業
3.0～3.9℃	2	6	3			1	・上水道利用量が1.2～3.2%上昇 ・年間30%の炭素量の損失を増加 ・C ₃ ・C ₄ 植物交代時期が2～3週間早まる	水資源・水環境 陸域生態系 農林水産業
4.0℃以上			1				・メシバ種子の年内発芽も可能	農林水産業

表-6 温暖化の感受性・閾値(海面上昇)

海面上昇	農林 水産業	海洋	沿岸域	国土保全・防災・ 人間居住	影響例	影響分野
30cm以下		1			・全国の砂浜面積の56.6%の108km ² が侵食	海洋
31～60cm		3	3		・平均潮差2m,SLR40cmで沖出し120m分の干潟が消滅 ・7割勾配よりも緩傾斜の護岸で、急激に越波量が増大	海洋 沿岸域
61～99cm		1	3		・全国の砂浜面積の81.7%が侵食 ・7割勾配以上の緩傾斜護岸で、越波量が約10倍に増大	海洋 沿岸域
1m以上	1	1	6	3	・全国の砂浜面積の90.3%が侵食 ・高潮・津波災害時の海面以下の面積が1.2倍 人口1730万人,資産150兆円に拡大 ・対策なしの被害費用は約14900億円/年, 対策ありの被害費用は約2300億円/年 ・必要な嵩上げは、外洋性の砂浜海岸では2.8m,内海では3.5m	海洋 沿岸域 沿岸域 国土保全・防災・ 人間居住

表-7 温暖化の感受性・閾値(水温上昇)

水温上昇	水資源 水環境	海洋	産業 エネルギー	影響例	影響分野
1.0～1.9℃	1	2	1	・真狩川で、オシロコマの生息域が25%消失 ・サンゴの白化がより頻繁かつ大規模に起こる ・カイアシ類の成長速度,世代時間が約20%増大,短縮 ・火力が0.2～0.4℃/C,原子力が1～2℃/C発電出力が低下	水資源・水環境 海洋 海洋 産業・エネルギー
2.0～2.9℃	1			・真狩川で、オシロコマの生息域が46.2%消失	水資源・水環境
3.0～3.9℃	1			・真狩川で、オシロコマの生息域が62.5%消失	水資源・水環境
4.0℃以上	6			・オシロコマの分布域が90%消失 ・イワナの分布域が35%消失 ・本州中部の神通川水系におけるイワナの生息の 総流路延長100kmが6.5kmに減少	水資源・水環境 水資源・水環境 水資源・水環境

響・リスクから見た危険性の境界であり、影響閾値と呼ばれる。

本データベースを用いて影響閾値に関する研究結果を抽出した。今回対象としたのは、気温上昇、海面上昇、水温上昇の3項目である。

気温上昇に関しては、1℃未満、1.0～1.9℃、2.0～2.9℃、3.0～3.9℃、4℃以上の5ランクで抽出を行った(表-5)。1.0～1.9℃上昇でライチョウや高山植物の分布域に変化が現れ、2.0～2.9℃上昇で針葉樹林帯が大規模に消滅するなど、陸上生態系、中でも高山生態系に大きな変化が生じることが指摘されている。一方、3.0～3.9℃上昇に対して指摘されている影響は、上水道使用量が1.2～3.2%程度の上昇という結果であった。今回の解析で取り出された気温上昇の影響閾値に関連する研究成果は37例であり、陸域生態系、水資源・水環境分野がほとんどで、他は海洋、産業・エネルギー、健康分野に1つずつの研究成果があるだけであった。

海面上昇は30cm以下、31～60cm、61～99cm、1m以上の4ランクで抽出を行った(表-6)。30cmの海面上昇で全国の砂浜のうち56.6%が侵食されるというのは大きな影響である。さらに、砂浜は65cmと1mの海面上昇でそれぞれ81.7%、90.3%が侵食されると試算されている。一方、30cm以下の海面上昇について

は影響事象の報告は見いだせなかった。水没・高潮氾濫の潜在的な氾濫面積・危険人口や構造物の対策費等は段階的な海面上昇に対して影響量が見積もられており、1mの海面上昇では相当大きな数値になっている。海面上昇に関する閾値の情報は、海洋、沿岸域、国土保全・防災・人間居住分野で22例あった。

水温上昇は1～1.9℃、2～2.9℃、3～3.9℃、4℃の4ランクに分けて抽出を行った(表-7)。1～1.9℃の水温上昇でもオショロコマの生息域やサンゴの白化現象に大きな影響が現れる。水温・海水温は1℃程度の上昇でも水系生態系の影響が顕在化する可能性がある。しかし、水温・海水温に関する閾値情報は12例で非常に少ない結果となった。

以上の解析結果から、まだ影響に関する定量的情報が極めて少ないこと、そのため影響閾値を抽出するだけの十分な知見が不足していることが分かった。今後、影響予測を定量化し、影響閾値を把握する方向での研究の進展が必要である。また、影響閾値は、わが国とアジア・太平洋の途上国では異なると考えられる。そのため、国別や地域毎の影響閾値を求める研究も必要である。

6. 結果—現状の到達点と今後の課題

温暖化の影響・リスク研究について見通しをよくするために研究データベースを構築した。これによって、研究成果マップが得られる。現時点での整理によると、研究の現状は以下のようにとらえることができる。

- 1) 分野で見ると、陸上生態系や海洋、農林水産業、沿岸域では既に多くの成果が出されている。海洋や陸上生態系では影響出現を検知する研究成果がある一方、多くの分野でのこれまでの研究は、要素研究が中心であった。
- 2) 温暖化の影響の実態を把握し対策につなげるためには、影響がどの程度(人数、数量、金額)に達するのか、どの地域のどの分野にもっとも厳しい影響が現れるのか、といった定量的な研究が必要である。とりわけ経済的な評価が欠けている。温暖化の影響に対する対策費用と比べるためには、影響の損害額を算出して、対策の費用便益分析を行う研究が必要である。
- 3) わが国への影響の全体像をとらえるために、多くの分野で全国評価を行うことが求められる。
- 4) 温暖化に対する長期的対策立案のためには、耐え難いレベルの影響が出るのは何℃の気温上昇、何cmの海面上昇の時か(閾値)、そしてそれはいつ起きそうか、といった問に対する答えが必要である。本論で示したように、ある程度はこうした情報が得られてきているが、われわれの知識はまだ極めて不十分である。
- 5) 温暖化の対策には、温暖化抑制策(緩和策)と適応策の2つがある。最大限、温暖化抑制を図る必要があるのは言うまでもないが、現在の対策で温暖化の進展を十分防止できるとはいえない以上、温暖化の悪影響を排除するため適応策を同時に検討する必要がある。
- 6) アジア・太平洋地域に対する影響・リスク及び適応策の研究をどう進めるか、一層の検討が必要である。

本研究を進めるにあたり、国立環境研究所原沢英夫先生、パシフィックコンサルタンツ地球環境部山田和人、藤森真理子両氏の協力を得た。また、本研究は科研費基盤研究(A)(代表:三村信男)によるものである。

参考文献

環境省地球温暖化問題検討委員会温暖化影響評価ワーキンググループ(2001):地球温暖化の日本への影響 2001, 340p.

総合科学技術会議環境担当議員・内閣府政策統括官(科学技術担当)(共編)(2003):地球温暖化研究の最前線—環境の世紀の知と技術 2002—、総合科学技術会議地球温暖化イニシャティブ気候変動分野報告書、財務省印刷局、p.142.

原沢英夫・西岡秀三(編著)(2003):地球温暖化と日本—自然・人への影響予測 第3次報告、古今書院、411p.