

長期目標設定に資する温暖化影響 データベースの開発

肱岡 靖明¹・高橋 潔²・原沢 英夫¹・久保田 泉¹・
増井 利彦¹・亀山 康子²・花崎 直太¹

¹ (独) 国立環境研究所 社会環境システム研究領域 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail: hijioka@nies.go.jp

² (独) 国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

本稿では、温暖化抑制のための長期目標合意における温暖化影響研究の役割を検討するために、目標合意に関連する重要な要素について整理した。結果、影響研究に関連して、1) 避けるべき危険な気候変化の決定は自然科学的知見だけではなく、意思決定主体の価値観にも大きく左右され、2) 多地域・多分野に生ずる個別の温暖化影響知見を集計する必要がある、という二つの重要な要素があることを明らかにした。そこで、長期目標への合意に資する影響研究知見の総合化を目的とした温暖化影響データベースを開発した。このデータベースは、シナリオ・対象年・全球平均気温上昇の共通データをもつ影響知見を格納し、共通データを軸として複数の分野別影響の度合いを同時に比較、評価することが可能である。

Key Words : Climate Change, Long-term stabilization target, Sectoral climate change impacts, Climate change impact database, Global mean temperature increase

1. はじめに

京都議定書第一約束期間 (2008年～2012年) 後、国際社会が温室効果ガス (以後、GHG) 排出抑制を今後いかに進めていくべきかについての検討が始まっている。その論点の一つには、気候・大気中のGHG濃度を最終的にどのレベルで安定化させねばならないのか、という長期目標の設定がある。気候変動枠組条約¹⁾は、その究極的な目標として「地球の気候系に対し危険な人為的干渉を及ぼすことに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させること」を掲げている。ここでは、具体的な水準について明記されていないが、EUでは「危険な人為的干渉を及ぼすことにならない水準」として、全球平均気温を産業革命前比2℃上昇に抑えることを提案している²⁾。しかしながら、国際レベルの長期目標への合意の目処はたっていないのが現状である。

本論文では、長期目標の合意に関連した重要な論点について整理し、それらの整理された論点のうち、解決のために影響研究の担う役割が大きいものを明確にした。次に、先進的な影響研究において採用されている新たな研究手法のうち、長期目標の合意形成のために有望であるものを整理した。さらに、長期目標の合意形成のために効果的な研究の一つとして、影響研究知見の総合化を

目的とした温暖化影響データベースを開発した。最後に、長期目標への合意に資する影響研究の今後の取り組みはいかなるものであるかを考察した。

2. 長期目標検討における影響研究の役割

(1) 長期目標の合意に関する要素

ここでは、影響研究の役割を検討するために、長期目標の合意形成を左右する要素について整理する。

a) 長期目標と実現可能性

長期目標と、その目標達成のための排出削減に要する努力の大きさ (金銭的なコスト・非金銭的な行動様式の変更等) は必ずしも独立したものではない点に注意する必要がある。避けねばならない危険な気候変化をまず議論・決定し、次にそれを実現するために必要な気候・GHG濃度等の安定化目標に合意しているように見える場合でも、実際には、その長期目標達成に要すると見込まれる努力・費用が現実的な範囲に納まるものであることを確認しつつ、長期目標への合意がなされていると考えられる。

b) 避けるべき危険な気候変化

避けねばならない危険な気候変化は、自然科学的知見のみによって決定されるものではなく、意思決定主体の価値観にも大きく左右される。典型的な例としては、ある希少な植物が地域的な平均気温が1℃上昇しただけで21世紀前半に絶滅してしまう、という自然科学的知見に対して、あらゆる手を尽くしてそのような気候変化は避けるべきだと主張する人もいれば、気候変化抑制の必要性を全く感じない人もいる。100年に1度の洪水が2度起きようになってしまうことを、深刻だと考える人とそうではない人がいる。また、価値観自体時間変化するものであるから、それに応じて合意される長期目標を時間変化させねばならない可能性もある。

c) 温暖化影響の集計

気候変化による影響は多地域・多分野にわたって生ずるため、長期の気候安定化目標を決定するには、把握された個別の影響をなんらかの方法で集計する必要がある。その集計の方法によっても、合意される長期目標には違いが生じる。理想的には、例えば懸念される全ての影響を金銭価値のような単一の指標を用いて示し、それらを重複の無いように足し合わせることで客観的に影響の大きさを表現できれば、長期目標への合意がとりつけ易い。しかしながら、実際には、金銭価値で計ることが適切でない影響も存在し、その大きさは無視できるほど小さなものではないと見込まれる。よって、全ての影響を単一の指標を用いて示し、それを算術的に足し合わせることは困難である。

d) 適応能力

気候変化による被害の大きさは、気候変化の大きさだけではなく、影響を受けるシステム・主体がどの程度適応して影響を軽減できるかという、いわゆる適応能力の大きさにも依存する。長期目標を全球平均気温やGHG濃度の上限として設定する場合には、ある一定量の時間変化しない適応能力を仮定していることになる。しかしながら、実際には、適応能力は経済状況・社会状況・技術進歩等に応じて変化する。将来の経済・社会状況等の想定を明確にしたうえで、それに応じた適応能力の変化を考慮して気候変化被害を見積もる必要がある。

e) 不確実性

科学的知見の不確実性は、長期目標への合意に関わる最重要要素の一つである。将来のエネルギー関連技術がどうなるのか、排出されたGHGは大気中でどのように蓄積されて大気中のガス組成が変化するのか、大気中のGHG組成の変化は全球平均気温・各地域の気候条件に

いかなる変化を及ぼすのか、このような気候変化があった場合に各地域・分野における影響はどの程度か、といった予測を積み重ね、それに基づいて危険な影響を避けるために必要な気候安定化目標を決定するが、積み重ねられる予測の各々がタイプの異なる不確実性を有している。不確実性の大きさの明示的な取扱いが目標合意のために必要となる。

(2) 影響研究の役割

地域別・分野別影響を網羅的にかつ精度良く見積もるための手法の開発・改良と、それらを用いた温暖化影響の評価が、影響研究の主たる役割である。加えてここでは、上述(1)の長期目標関連要素についての影響研究の役割について検討する。a)については、排出削減努力、影響の大きさ、適応にかかる費用と効果などを総合的に考慮する必要がある、そのための道具として統合評価モデルに対する期待は大きい。影響研究は統合評価モデルの中の影響量を推計する部分を担当し、そこに最新の知見を提供することになる。緻密な手法をもって影響を正確に見積もることは重要であるが、統合評価モデルにおいては評価手法ではなく、その結果と不確実性の大きさが端的に表現される必要がある。b)・c)については、価値判断材料として適切に機能するように、影響研究の知見を伝えるための工夫を行うことで、合意形成の可能性が高まる。d)に関しては、適応能力の時間変化に関する社会科学的な研究と、生態学・農学・医学といった自然科学を基礎とする影響研究を融和させることで、より現実的に適応の効果を考慮することが可能となる。e)については、3.で説明する確率密度関数での影響推計といった方法で、科学的知見の含意を政策決定者に対して伝える努力が必要である。

3. 長期目標の合意形成のために有望な新しい研究手法

(1) シナリオ分析

従来、多くの影響研究では、数パターンのGHG排出シナリオについて、それぞれを前提とした場合に予想される気候変化を気候シナリオとして用意し、それを影響評価モデルの入力条件として用いて、多様な将来像の帰結としてどのような影響が生ずるかを示してきた。しかしながら、2(1)のd)で述べたように、適応をどの程度見込めるかにより同じ気候変化量であっても影響被害量は全く異なるものとなる。適応能力の将来変化の可能性についても気候変化と同様にシナリオとして取り扱い影響評価を行うことができるが、両因子とも社会・経済・技

術の将来発展との因果関係が強い。そのため、関連因子間の整合性を維持したシナリオを前提とした影響研究の結果は、より有用なものである。ただし、長期目標の検討材料として考えた場合には、評価結果だけではなく、その前提となったシナリオがどのようなものであるか、また多要素のシナリオ間の整合性をいかなる方法でとったか、といった点についての正確な情報が付随して政策決定者に対して提供される必要がある。

(2) 影響の検出と原因推定

2(1)のe)で述べたように、長期目標の判断材料となる科学的知見の不確実性の大きさは、長期目標への合意の一つの鍵である。過去の観測に基づく既に発現しつつある影響を検出し、それが人為的なGHG排出に起因する気候変化によるものであるということを統計的に示す研究への注目が高まっている。検出された影響は、将来予測に比べて甚大な被害を示さなくとも、不確実性が非常に少ないことで、長期目標への合意を後押しする材料として期待できる。特に近年増加傾向が示唆される異常気象災害について、温暖化傾向との関わりを示すことの重要性は大きい。

(3) 影響知見の統合化

前節の2(1)のe)で触れたように、個別の分野・地域について把握された温暖化影響を根拠として長期目標への合意を目指すためには、なんらかの集計・総合化が必要である。例えば、IPCCの第3次評価報告書では、分野別の影響を、(1)特異で危機にさらされているシステム、(2)極端な気候現象、(3)悪影響の分布、(4)地球規模で集計した影響、(5)大規模で影響の大きい事象の5つの視点から整理し、全球平均気温の上昇に応じて各々の影響量を示した(図-1)。また、Parryら³⁾は、横軸に全球平均気温を、縦軸に分野別(飢餓、沿岸洪水、マラリア、水資源)のリスク人口変化をとり、1つのグラフに4分野の影響を合わせて示した(図-2)。長期目標の議論の活発化に伴い、全球平均気温もしくは地域気温の上昇と懸念される影響の対応を表の形式で示した報告が増えてきている^{4,5)}。気温変化と影響との対応を把握出来るようにするために、網羅的に気温変化と懸念される影響の報告例を収集してデータベース化し、図-2のように示すことは効果的である。

(4) 不確実性の確率密度分布での表現

温暖化影響評価の不確実性には、(1)科学的知見の不足に起因するもの、(2)自然界の変動性・不確定性に起因するもの、(3)将来の社会選択に起因するもの、がある。深刻な影響を予見する知見であっても、その生起確

率が非常に低い場合や、科学的裏づけが少ないことにより知見の信頼性が低い場合には、長期目標決定の際の考慮の優先順位は低く取り扱われる可能性がある。近年、気候変化ならびにその影響の予測結果に関する不確実性を、確率分布を用いて表すことが重要であるとの認識が高まりつつある。例えば、農作物の単位面積あたり収量の将来変化の場合、将来の気温や降水といった気候因子、土壌中栄養分、灌漑普及やその水利用効率改善、大気中CO₂濃度増加による施肥効果、機械化・肥料投入といった投入量、品種改良による生産性向上、といった関連する様々な因子やモデルパラメータについてそれぞれ不確実性を確率分布で表現し、各々の確率分布を積み重ね、最終的に単位面積あたり収量の将来変化について一つの確率分布として示すことになる。確率分布を用いた影響予測結果の表現は、長期目標検討に対して有益な情報を提供し、また検討プロセスの透明性を高めると期待されているが、その実践は必ずしも容易ではなく、今後さらなる研究が必要である

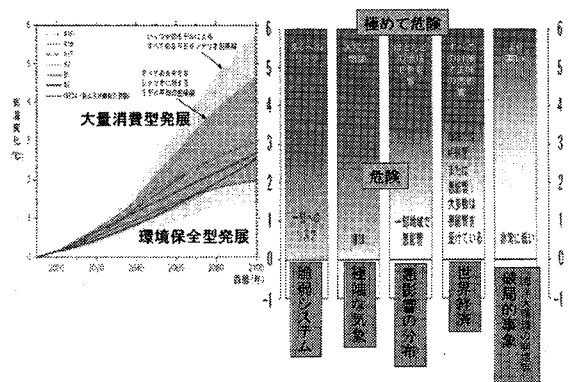


図-1 温暖化の危機レベルを判断する影響領域⁹⁾

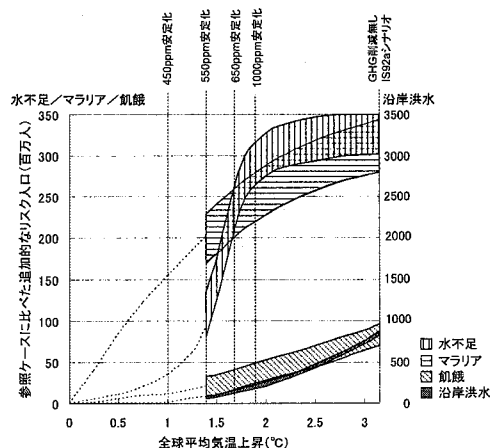


図-2 安定化濃度と影響³⁾

4. 温暖化影響データベースの開発

(1) 開発の目的・データ方法

2(1)のaおよび3(3)で述べたように、影響研究の知見を統合化させることは、長期目標の合意形成判断に効果的である。IPCC第三次評価報告書後、多数の影響研究の知見が報告されてきている。そこで本研究では、長期目標の判断に貢献することを目的として、複数の分野における既存の影響知見を格納した温暖化影響データベース（以後、影響DB）の開発に取り組んでいる。影響DBには、①異なる影響分野を全球平均気温上昇（以後、GMTI）などの共通軸で整理することで、統合的評価を可能とし、②膨大な影響知見を政策決定者が容易に確認でき、③シナリオや時間変化、GMTIによる影響の将来予測の幅を明示することができる、などの特徴がある。

(2) 格納データ

影響DBは既存の影響研究の知見を格納している。図-2に示された知見はもとより、国内外の影響研究に関する文献を検索し、GMTIと共に様々な分野別影響（沿岸域、生態系、健康、食料、水資源）の格納に取り組んでいる。影響の知見は、文献中に記載されている図表から収集している。このとき、GMTIの値が記載されていない場合も多いが、その場合には、文中に記載されている使用した全球気候モデル（以後、GCM）の情報をもとに、GMTIの値を挿入して格納する。

国や地点の気温上昇値は、GMTIに変換する必要がある。影響DBはGCMの結果を用いて変換する機能を持つ。この機能では、国や地点の気温上昇とGMTIの関係はGCMの結果によって異なる事を考慮して、複数のGCM・シナリオ別の国別・地点別気温上昇とGMTIの関係を格納している。このとき、GCMの結果を空間平均することにより、国別・地域別気温上昇を作成している。これによって、一つの影響量を複数のGMTIにより表示することが可能となり、国・地域の平均気温上昇量とGMTIの関係の不確実性を表示することも可能となる。

(3) 影響データベース開発の政策的意義

ここで、影響DBの有する政策的意義についても言及しておく。一般に、政策の評価基準として、①政策によって得られる便益、②費用効果性、③公平性、④制度の効率性、の4項目が挙げられる。長期目標を達成するための政策を設計するにあたり、影響DBがどのように貢献し得るかを考えてみると、たとえば、①については、抑制策に関する情報と、いかなる影響が予測され、抑制策によっていかなる影響が回避できたかに関する情報とが必要となる。また、③については、これまでは各国の

排出削減負担配分を公平にすることに焦点が当てられてきたが、影響を加味した制度設計も検討の余地があると考えられる。つまり、「影響をより多く受ける国は排出削減負担が減免される」、あるいは、「影響に対する適応措置への支援を多く実施した先進国は、その分だけ排出削減義務を免れる」といったことになる。その際にも、影響DBの提供する統合化された影響に関する情報は有益である。

さらに、近年、気候変動に関する国際交渉では、適応策が中心課題のひとつとなってきた。その前提となる気候変動の影響の統合的把握に対する政策決定者のニーズが高まっている。COP11（2005年11月-12月、モントリオール）では、各国が影響・脆弱性・適応への理解を深め、評価を改善し、科学のおよび社会経済学的知見に基づいた適応活動に関する意思決定を可能にすることを目指し、「気候変動の影響、並びに、気候変動に対する脆弱性及び適応に関する5か年作業計画」が採択された（COP11決定2）。影響DBはそのニーズに応えるものとなることが期待される。

(4) 機能

影響DBはマイクロソフト社製のソフトウェアACCESSを用いて開発されている。格納されているそれぞれのレコードには、地域区分、影響分野、単位、シナリオ、対象年、GMTI、引用文献、などの属性データが記録されている。図-3に影響DBのフロントページを示す。フロントページは、いくつかの条件からデータを絞り込み検索し、その結果を図示するものである。フロントページにおける操作可能項目は図-3に示すように10つあり、それぞれの内容を以下に記す。

- ① Global/Region/Countryの選択：対象とする地域を選択する。ここでは、Global、Region、Countryの3つのカテゴリが準備されている。
- ② Region/Countryの選択：①でRegionもしくはCountryを選択した場合、選択したRegionもしくはCountryに具体的な地域・国情報があればリストボックスに表示され、任意に選択可能である（複数選択可）。ただし、①においてGlobalを選んだ場合、Region/Country情報は格納されていないため“-”が表示される。
- ③ Spotの選択：②で選択したCountryに国内の地点情報があればリストボックスに表示され、任意に選択可能である（複数選択可）。ただし、地点情報がない国を選択した場合“-”が表示される。
- ④ Scenarioの選択：シナリオは2000年にIPCCにより「排出シナリオに関する特別報告書」として発表された定量的シナリオ（SRESシナリオ）から、A1、A1FI、A2、B1、B2、など複数を選ぶことが可能である。

- ⑤ Field の選択：分野別影響は、Coastal Hazard, Ecosystem Loss, Health, Hunger, Water Shortage から複数選択可能である（今後拡充予定）。
- ⑥ Sub Field の選択：⑤で選択された分野別影響は、それぞれさらに複数のサブ分野に区分されており、複数選択することができる。
- ⑦ Unit の選択：図の縦軸に表示する単位を選択する。分野別影響は様々な単位で表されるが、影響 DB では可能な限り共通の単位を用いて、複数の影響分野を同時に比較することを目的としている。現在採用している単位は、リスク人口（population at risk (million)）、基準年からの影響増加割合（%）、発症頻度（incidence/capita/year）の3つである（今後拡充予定）。選択した複数の影響が異なる単位を持つ場合、同じ単位を持つ影響項目のみ同時に表示可能である。
- ⑧ GCM の選択：国や地点の気温上昇値を GMTI に変換する。複数の GCM を選択可能である。
- ⑨ 横軸の選択：横軸の項目を変化させて、複数の視点からデータを見ることが可能である。選択項目は、GMTI, Scenario, Year の3項目である（図-4）。
- ⑩ 参考文献の呼び出し：図が表示されると同時に、選択されたデータ一覧も表形式で表示される。選択されたデータに参考文献情報が PDF 形式で格納されている場合には呼び出し可能であり、表示された影響の知見がどのように推計された結果であるか確認できるように工夫されている。

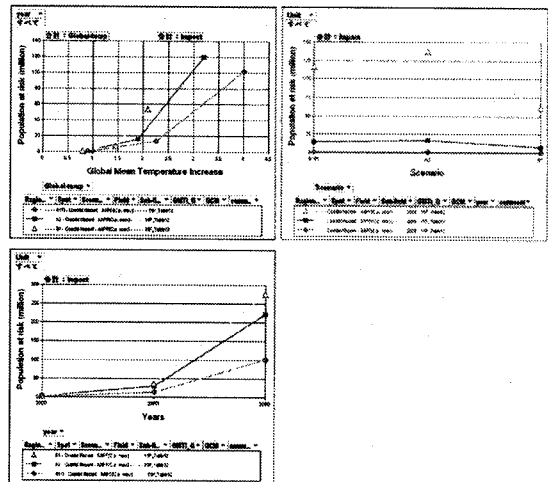


図-4 異なる横軸単位による影響結果の図示例

(4) 今後の改良点

今後の改良点を以下に記す。

- ① 収録される影響に関する科学的知見の信頼度や確度については、情報元の論文PDFをデータベースと同時収録して目標検討の際に判断材料とすることができるようにしている。しかしながら、政策決定者が多分野・他地域の影響量を包括的に把握して目標検討する際には、元論文全文に目を通すことは困難であるため、なんらかの方法により知見の不確実性についても表示する工夫が今後必要である。
- ② 各影響評価研究では、それぞれ異なる適応に関する前提条件を仮定して影響評価が行われている。どのような仮定に基づいた評価結果であるか、直感的に把握できるように表示する工夫が必要である。

5. 長期目標合意に資する影響研究についての考察

長期目標の合意に資する影響研究について考察する。まず、価値判断のための材料として適切に機能するように、影響研究の知見を伝えるための工夫を行うことの重要性が挙げられる。そのためには、評価の前提条件、評価手法の信頼度、評価に用いた入力シナリオの不確実性等を、影響評価結果に付随して正しくかつなるべく詳細に提供する必要がある。その場合、影響評価結果を確率密度分布として示すことも選択肢の一つである。

影響知見の総合化の方法をさらに進歩させることも、長期目標合意のために効果的である。全球平均気温に対応した地域別・分野別影響の対応を表やグラフで示するのは効果的な方法の一つであり、それを支援するツール開発やデータベース作成は喫緊の課題である。ただし、適

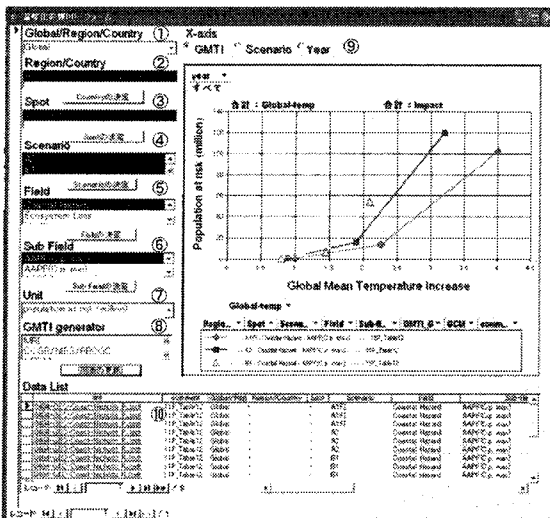


図-3 影響データベースのフロントページ

応能力等の気温以外の因子の変化がどのように仮定されているのか、気候変化の地域差はどの気候モデルの予測結果に基づいているのか、といった重要な前提情報も同時に把握できるような工夫を、開発するツールやデータベースに盛り込むことは有効であろう。

適応をどの程度見込むことが出来るかについては、研究知見が依然少ない状態にあり、影響知見の不確実性を高める原因の一つとなっている。生物種の減少のような適応の余地が現在から将来にわたって小さなものについては適応の効果を明示的に考慮する必要はないが、人間生活に直接的に作用する影響については、適応の有無は重要である。将来の経済・社会状況等の想定を明確にしたうえで、それに応じた適応能力の変化を考慮して気候変化被害を見積もる必要がある。適応能力の時間変化に関する社会科学的な研究と、生態学・農学・医学といった自然科学を基礎とする影響研究を融和させることで、より現実的に適応の効果を考慮しうる。

本研究では、長期目標の合意に関連した重要な論点について整理し、それをもとに長期目標への合意に資する温暖化影響研究の取り組みについて検討した。その結果、影響研究の知見を伝えるための工夫を行うこと、影響知見の総合化のためのツール開発やデータベース構築、適応を見込んだ影響評価の推進が、重要な今後の課題として示された。本研究で開発に取り組んでいる影響DBは上記課題への解決策の一つである。今後は、適応や影響の経済的評価の知見も含めたデータの拡充を予定している。

謝辞：本稿は、平成18年度環境省地球環境研究総合推進費S4「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」の成果の一部である。

参考文献

- 1) United Nations : United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, New York, 1992.
- 2) Commission of the European communities : Winning the Battle Against Global Climate Change, Brussels, 2005.
- 3) Parry, M., N. Amell, T. McMichael, R. Nicholls, P. Martens, S. Kovats, M. Livermore, C. Rosenzweig, A. Iglesias and G. Fischer : Millions at risk defining critical climate change threats and targets, *Global Environmental Change*, 11, 181-183, 2001.
- 4) Hare, W. : Assessment of Knowledge on Impacts of Climate Change - Contribution to the Specification of Art. 2 of the UNFCCC, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), Berlin, Germany, 2003.
- 5) Hitz, S. and Smith, J. : Estimating global impacts from climate change, *Global Environmental Change-Human And Policy Dimensions*, 14(3), 201-218, 2004.
- 6) IPCC : Impact, Adaptation and Vulnerability, Climate Change 2001, Cambridge University Press, 1032pp, 2001.

DEVELOPMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACTS DATABASE FOR LONG-TERM TARGET SETTING

Yasuaki HIJIOKA, Kiyoshi TAKAHASHI, Hideo HARASAWA, Izumi KUBOTA,
Toshihiko MASUI, Yasuko KAMEYAMA and Naota HANASAKI

In order to discuss the roles of climate change impact research for agreement on long-term target setting for prevention of global warming, this paper has summarized important elements to achieve the agreement. We have revealed two important elements related to the impacts researches as follows: 1) avoiding dangerous climate change level are decided by not only scientific knowledge of climate change impacts but also the value of decision maker, 2) it is important to summarize discrete knowledge of climate change impacts on multi-region and multi-sector. In this study, we have been developing a climate change impact database for integrating the knowledge of climate change impact research to assist the agreement on long-term target setting. The database stores sectoral impact records of climate change with common data such as scenario, target year and global mean temperature increase and possesses a function to display a number of sectoral impact records in parallel utilizing the common data as an explanatory variable. The database is expected to provide knowledge of climate change impacts effectively to assist the agreement on long-term target setting.