

The Economics of Climate Change 気候変動の経済学

Executive Summary



The Economics of
Climate Change
気候変動の経済学
Executive Summary

October 2006

© Crown copyright 2006

Published with the permission of HM Treasury on behalf of the Controller of Her Majesty's Stationery Office.

The text in the document (excluding the Royal Coat of Arms and departmental logos) may be reproduced free of charge in any format or medium providing that it is reproduced accurately and not used in a misleading context. The material must be acknowledged as Crown copyright and the title of the document specified.

Any enquiries relating to the copyright in this document should be sent to:

HMSO
Licensing Division
St Clements House
2-16 Colegate
Norwich
NR3 1BQ

Fax: 01603 723000
E-mail: hmsolicensing@cabinet-office.x.gsi.gov.uk

This document and related materials can be accessed at:
www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm

The complete publication will be available in December 2006 from Cambridge University Press
ISBN-10: 0-521-02995-3
ISBN-13: 978-0-521-87725-1

For enquiries about this publication, contact:

Stern Review
HM Treasury
1 Horse Guards Road
London
SW1A 2HQ
E-mail: stern.review@hm-treasury.gov.uk

HM Treasury contacts

For general enquiries about HM Treasury and its work, contact:

Correspondence and Enquiry Unit
HM Treasury
1 House Guards Road
London
SW1A 2HQ

Tel: 020 7270 4558
Fax: 020 7270 4861
E-mail: public.enquiries@hm-treasury.gov.uk

This was printed on at least 75% recycled paper.
When you have finished with it please recycle it.

STERN REVIEW: The Economics of Climate Change

Preface

This Review was announced by the Chancellor of the Exchequer in July 2005. The Review set out to provide a report to the Prime Minister and Chancellor by Autumn 2006 assessing:

- the economics of moving to a low-carbon global economy, focusing on the medium to long-term perspective, and drawing implications for the timescales for action, and the choice of policies and institutions;
- the potential of different approaches for adaptation to changes in the climate; and
- specific lessons for the UK, in the context of its existing climate change goals.

The terms of reference for the Review included a requirement to consult broadly with stakeholders and to examine the evidence on:

- the implications for energy demand and emissions of the prospects for economic growth over the coming decades, including the composition and energy intensity of growth in developed and developing countries;
- the economic, social and environmental consequences of climate change in both developed and developing countries, taking into account the risks of increased climate volatility and major irreversible impacts, and the climatic interaction with other air pollutants, as well as possible actions to adapt to the changing climate and the costs associated with them;
- the costs and benefits of actions to reduce the net global balance of greenhouse gas emissions from energy use and other sources, including the role of land-use changes and forestry, taking into account the potential impact of technological advances on future costs; and
- the impact and effectiveness of national and international policies and arrangements in reducing net emissions in a cost-effective way and promoting a dynamic, equitable and sustainable global economy, including distributional effects and impacts on incentives for investment in cleaner technologies.

Overall approach to the Review

We have taken a broad view of the economics required to understand the challenges of climate change. Wherever possible, we have based our Review on gathering and structuring existing research material.

Submissions to the Review were invited from 10 October 2005 to 15 January 2006. Sir Nicholas Stern set out his initial views on the approach to the Review in the Oxonia lecture on 31 January 2006, and invited further responses to this lecture up to 17 March 2006.

During the Review, Sir Nicholas and members of the team visited a number of key countries and institutions, including Brazil, Canada, China, the European Commission, France, Germany, India, Japan, Mexico, Norway, Russia, South Africa and the USA. These visits and work in the UK have included a wide range of interactions, including with economists, scientists, policy-makers, business and NGOs.

序文

本レビューの作成は、英国財務大臣により2005年7月に発表された。2006年秋までに英国首相と英国財務大臣に報告されるものとして依頼され、以下の点を分析した。

- 中長期的視点、行動を起こす際の時間軸の影響、政策および制度の選択に焦点を置き、低炭素世界経済へと移行する経済学
- 様々な気候変動適応策に対する多様なアプローチのポテンシャル（可能性）
- 既存の気候変動に対する目標における、英国への明確な教訓

本レビューに与えられた課題に答えるため、以下の点についてステークホルダー（利害関係者）から幅広く意見を求め、また知見を精査した。

- 今後数十年間の経済成長の見通し、先進国と発展途上国におけるエネルギー構成、エネルギー消費原単位を含むエネルギー需要および排出量との関係について
- 気候の不安定性の増大と、深刻かつ不可逆的な影響のリスク、気候の変化と他の大気汚染物質との相互関係、そして変化する気候に適応するために取り得る対策とそのコストを考慮した、先進国と発展途上国双方における気候変動の経済的、社会的、環境的影響について
- 将来の技術進歩に伴うコスト変化の可能性を考慮して、エネルギー利用や他の排出源からの温室効果ガス排出量を地球全体で削減するための、土地利用や森林の役割の変化といった対策の費用と便益について
- 総排出量を費用対効果の高い手法にて削減するための国内、国際政策と、分散による効果と、クリーン技術に対する投資インセンティブの影響を含む、動的で衡平かつ持続可能な世界経済を促進する影響と効果について

本レビュー作成に当たっての手法

本レビューの作成に当たっては、気候変動という難問を理解するために、幅広い経済学的視点を採用した。我々のレビューは、既存の研究成果を収集・整理したものに基いている。

2005年10月10日から2006年1月15日に、本レビュー作成のため諸機関や研究者に対して研究成果の提供を依頼した。2006年1月31日に、Oxoniaにおける講演にて、ニコラス・スターン博士が、本レビューにて用いる手法に関する最初の見解を発表した。2006年3月17日までに、この講演を受けて、諸機関、研究者からのさらなる意見収集を行った。

このレビューをまとめるにあたり、スターン博士を筆頭としたチームメンバーは、ブラジル、カナダ、中国、EC、フランス、ドイツ、インド、日本、メキシコ、ノルウェー、ロシア、南アフリカ、そして米国をはじめとした多くの重要な国々と国際機関を訪問した。これらの訪問と英国における作業は、経済学者、科学者、政策担当者、産業界、そしてNGOとの幅広い情報・意見交換が行われた。

STERN REVIEW: The Economics of Climate Change

The report also draws on the analysis prepared for the International Energy Agency publications "Energy Technology Perspectives" and "World Energy Outlook 2006".

There is a solid basis in the literature for the principles underlying our analysis. The scientific literature on the impacts of climate change is evolving rapidly, and the economic modelling has yet to reflect the full range of the new evidence.

In some areas, we found that existing literature did not provide answers. In these cases, we have conducted some of our own research, within the constraints allowed by our timetable and resources. We also commissioned some papers and analysis to feed into the Review. A full list of commissioned work and links to the papers are at www.sternreview.org.uk

Acknowledgements

The team was led by Siobhan Peters. Team members included Vicki Bakhshi, Alex Bowen, Catherine Cameron, Sebastian Catovsky, Di Crane, Sophie Cruickshank, Simon Dietz, Nicola Edmondson, Su-Lin Garbett, Lorraine Hamid, Gideon Hoffman, Daniel Ingram, Ben Jones, Nicola Patmore, Helene Radcliffe, Raj Sathiyarajah, Michelle Stock, Chris Taylor, Tamsin Vernon, Hannah Wanjie, and Dimitri Zenghelis.

We are very grateful to the following organisations for their invaluable contributions throughout the course of the Review: Vicky Pope and all those who have helped us at the Hadley Centre for Climate Prediction; Claude Mandil, Fatih Birol and their team at the International Energy Agency; Francois Bourguignon, Katherine Sierra, Ken Chomitz, Maureen Cropper, Ian Noble and all those who have lent their support at the World Bank; the OECD, EBRD, IADB, and UNEP; Rajendra Pachauri, Bert Metz, Martin Parry and others at the IPCC; Chatham House; as well as Martin Rees and the Royal Society.

Many government departments and public bodies have supported our work, with resources, ideas and expertise. We are indebted to them. They include: HM Treasury, Cabinet Office, Department for Environment Food and Rural Affairs, Department of Trade and Industry, Department for International Development, Department for Transport, Foreign and Commonwealth Office, and the Office of Science and Innovation. We are also grateful for support and assistance from the Bank of England and the Economic and Social Research Council, and for advice from the Environment Agency and Carbon Trust.

We owe thanks to the academics and researchers with whom we have worked closely throughout the Review. A special mention goes to Dennis Anderson who contributed greatly to our understanding of the costs of energy technologies and of technology policy, and has provided invaluable support and advice to the team. Special thanks too to Halsey Rogers and to Tony Robinson who worked with us to edit drafts of the Review. And we are very grateful to: Neil Adger, Sudhir Anand, Nigel Arnell, Terry Barker, John Broome, Andy Challinor, Paul Collier, Sam Fankhauser, Michael Grubb, Roger Guesnerie, Cameron Hepburn, Dieter Helm, Claude Henry, Chris Hope, Paul Johnson, Paul Klemperer, Robert May, David Newbery, Robert Nicholls, Peter Sinclair, Julia Slingo, Max Tse, Rachel Warren and Adrian Wood.

本レビューは、国際エネルギー機関の「Energy Technology Perspectives」および「World Energy Outlook」に向けた研究成果も利用している。

本レビューでは、確固たる根拠に基づいて科学的研究成果を分析した。気候変動の影響に関する科学的研究成果は急速に進展している。一方、経済モデルはこれら一連の新知見がまだ全部は反映されていない。

研究分野の中には、現在までの研究成果のみでは本レビュー作成に必要な答えが得られないこともあった。このような場合、我々は与えられた時間と様々な意味での資源制約の中で、独自に研究を行ったものもある。また、本レビューで用いることを目的として、外部へ研究および分析を委託した。これら委託業務全般に関する一覧およびそれぞれの研究論文へのリンクは、www.sternreview.org.ukにて参照可能である。

謝辞

本レビューチームのメンバーは、Siobhan Petersを筆頭として、Vicki Bakhshi、Alex Bowen、Catherine Cameron、Sebastian Catovsky、Di Crane、Sophie Cruickshank、Simon Dietz、Nicola Edmondson、Su-Lin Garbett、Lorraine Hamid、Gideon Hoffman、Daniel Ingram、Ben Jones、Nicola Patmore、Helene Radcliffe、Raj Sathiyarajah、Michelle Stock、Chris Taylor、Tamsin Vernon、Hannah Wanjie、Dimitri Zenghelisである。

本レビュー作成の全ての過程において貴重な貢献をいただいた、以下の機関の方々に感謝申し上げます。Vicky Popeを筆頭とした英国気象局ハドレーセンターの皆様、国際エネルギー機関のClaude Mandil、Fatih Birolと彼らのチームの皆様、世界銀行のFrancois Bourguignon、Katherine Sierra、Ken Chomitz、Maureen Cropper、Ian Nobleとその他支援者、OECD、EBRD、IADB、UNEP各機関の皆様、IPCCのRajendra Pachauri、Bert Metz、Martin Parry他の皆様、チャタムハウス（英王立国際問題研究所）の皆様、英国学士院のMartin Rees他の皆様。

以下に示す英国政府の省庁や公的機関の多くからも、様々な資源、アイデア、専門技能など本レビューへ支援をいただいた。謝意を表する次第である。英国財務省、英国内閣府、英国環境・食糧・農林地域省、英国貿易産業省、英国国際開発省、英国運輸省、英国外務省、英国科学技術庁。また、イングランド銀行、経済社会学研究会議からも支援をいただき、環境局とカーボントラストからは助言をいただいた。

我々は、本レビュー作成過程において緊密な作業をともに遂行した多くの学者、研究者の皆様にも感謝申し上げます。中でも、とくにエネルギー技術やエネルギー政策のコストに関する我々の理解を深めるのに多大な貢献をいただいたのみならず、支援と鞭撻をくれたDennis Andersonに謝意を表す。また、本レビューの草稿編集に我々とともに携わってくれたHalsey RogersとTony Robinsonにも感謝申し上げます。また、以下の皆様にも感謝する次第である。Neil Adger、Sudhir Anand、Nigel Arnell、Terry Barker、John Broome、Andy Challinor、Paul Collier、Sam Fankhauser、Michael Grubb、Roger Guesnerie、Cameron Hepburn、Dieter Helm、Claude Henry、Chris Hope、Paul Johnson、Paul Klempner、Robert May、David Newbery、Robert Nicholls、Peter Sinclair、Julia Slingo、Max Tse、Rachel Warren、Adrian Wood。

STERN REVIEW: The Economics of Climate Change

Throughout our work we have learned greatly from academics and researchers who have advised us, including: Philippe Aghion, Shardul Agrawala, Edward Anderson, Tony Atkinson, Paul Baer, Philip Bagnoli, Hewson Baltzell, Scott Barrett, Marcel Berk, Richard Betts, Ken Binmore, Victor Blinov, Christopher Bliss, Katharine Blundell, Severin Borenstein, Jean-Paul Bouttes, Alan Budd, Frances Cairncross, Daniel Cullenward, Larry Dale, Victor Danilov-Daniliyan, Amy Davidsen, Angus Deaton, Richard Eckaus, Jae Edmonds, Jorgen Elmeskov, Paul Epstein, Gunnar Eskeland, Alexander Farrell, Brian Fender, Anthony Fisher, Meredith Fowley, Jeffrey Frankel, Jose Garibaldi, Maryanne Grieg-Gran, Bronwyn Hall, Jim Hall, Stephane Hallegatte, Kate Hampton, Michael Hanemann, Geoffrey Heal, Merylyn Hedger, Molly Hellmuth, David Henderson, David Hendry, Marc Henry, Margaret Hiller, Niklas Hoehne, Bjart Holtmark, Jean-Charles Hourcade, Jo Hossell, Alistair Hunt, Saleem Huq, Mark Jaccard, Sarah Joy, Jiang Kejun, Ian Johnson, Tom Jones, Dale Jorgenson, Paul Joskow, Kassim Kulindwa, Daniel Kammen, Jonathan Köhler, Paul Krugman, Sari Kovats, Klaus Lackner, John Lawton, Li Junfeng, Lin Erda, Richard Lindzen, Björn Lomborg, Gordon MacKerron, Joaquim Oliveira Martins, Warwick McKibbin, Robert Mendelsohn, Evan Mills, Vladimir Milov, James Mirrlees, Richard Morgenstern, Robert Muir-Wood, Justin Mundy, Gustavo Nagy, Nebojša Nakicenovic, Karsten Neuhoff, Greg Nimmet, J.C Nkomo, William Nordhaus, David Norse, Anthony Nyong, Pan Jiahua, John Parsons, Cedric Philibert, Robert Pindyck, William Pizer, Oleg Pluzhnikov, Jonathon Porritt, Lant Pritchett, John Reilly, Richard Richels, David Roland-Holst, Cynthia Rosenzweig, Joyashree Roy, Jeffrey Sachs, Mark Salmon, Alan Sanstad, Mark Schankerman, John Schellnhueber, Michael Schlesinger, Ken Schomitz, Amartya Sen, Robert Sherman, P. R. Shukla, Brian Smith, Leonard Smith, Robert Socolow, David Stainforth, Robert Stavins, Joe Stiglitz, Peter Stone, Roger Street, Josué Tanaka, Evgeniy Sokolov, Robert Solow, James Sweeney, Richard Tol, Asbjorn Torvanger, Laurence Tubiana, Steven Ward, Paul Watkiss, Jim Watson, Martin Weitzman, Hege Westskog, John Weyant, Tony White, Gary Yohe, Ernesto Zedillo and Zou Ji.

We are grateful to the leaders, officials, academics, NGO staff and business people who assisted us during our visits to: Brazil, Canada, China, the European Commission, France, Germany, Iceland, India, Japan, Mexico, Norway, Russia, South Africa and the USA.

And thanks to the numerous business leaders and representatives who have advised us, including, in particular, John Browne, Paul Golby, Jane Milne, Vincent de Rivaz, James Smith, Adair Turner, and the Corporate Leaders Group.

Also to the NGOs that have offered advice and help including: Christian Aid, The Climate Group, Friends of the Earth, Global Cool, Green Alliance, Greenpeace, IIED, IPPR, New Economics Foundation, Oxfam, Practical Action, RSPB, Stop Climate Chaos, Tearfund, Women's Institute, and WWF UK.

Finally, thanks also go to Australian Antarctic Division for permission to use the picture for the logo and to David Barnett, for designing the logo.

本レビューの作成に当たり、以下に示す多くの学者、科学者の皆様から助言を頂き、多くを学ぶことができた。Philippe Aghion, Shardul Agrawala, Edward Anderson, Tony Atkinson, Paul Baer, Philip Bagnoli, Hewson Baltzell, Scott Barrett, Marcel Berk, Richard Betts, Ken Binmore, Victor Blinov, Christopher Bliss, Katharine Blundell, Severin Borenstein, Jean-Paul Bouttes, Alan Budd, Frances Cairncross, Daniel Cullenward, Larry Dale, Victor Danilov-Daniliyan, Amy Davidsen, Angus Deaton, Richard Eckaus, Jae Edmonds, Jorgen Elmeskov, Paul Epstein, Gunnar Eskeland, Alexander Farrell, Brian Fender, Anthony Fisher, Meredith Fowley, Jeffrey Frankel, Jose Garibaldi, Maryanne Grieg-Gran, Bronwyn Hall, Jim Hall, Stephane Hallegate, Kate Hampton, Michael Hanemann, Geoffrey Heal, Merylyn Hedger, Molly Hellmuth, David Henderson, David Hendry, Marc Henry, Margaret Hiller, Niklas Hoehne, Bjart Holtzmark, Jean-Charles Hourcade, Jo Hossell, Alistair Hunt, Saleem Huq, Mark Jaccard, Sarah Joy, Jiang Kejun, Ian Johnson, Tom Jones, Dale Jorgenson, Paul Joskow, Kassim Kulindwa, Daniel Kammen, Jonathan Köhler, Paul Krugman, Sari Kovats, Klaus Lackner, John Lawton, Li Junfeng, Lin Erda, Richard Lindzen, Björn Lomborg, Gordon MacKerron, Joaquim Oliveira Martins, Warwick McKibbin, Robert Mendelsohn, Evan Mills, Vladimir Milov, James Mirrlees, Richard Morgenstern, Robert Muir-Wood, Justin Mundy, Gustavo Nagy, Nebojša Nakicenovic, Karsten Neuhoff, Greg Nimmet, J.C Nkomo, William Nordhaus, David Norse, Anthony Nyong, Pan Jiahua, John Parsons, Cedric Philibert, Robert Pindyck, William Pizer, Oleg Pluzhnikov, Jonathon Porritt, Lant Pritchett, John Reilly, Richard Richels, David Roland-Holst, Cynthia Rosenzweig, Joyashree Roy, Jeffrey Sachs, Mark Salmon, Alan Sanstad, Mark Schankerman, John Schellnhueber, Michael Schlesinger, Ken Schomitz, Amartya Sen, Robert Sherman, P. R. Shukla, Brian Smith, Leonard Smith, Robert Socolow, David Stainforth, Robert Stavins, Joe Stiglitz, Peter Stone, Roger Street, Josué Tanaka, Evgeniy Sokolov, Robert Solow, James Sweeney, Richard Tol, Asbjorn Torvanger, Laurence Tubiana, Steven Ward, Paul Watkiss, Jim Watson, Martin Weitzman, Hege Westskog, John Weyant, Tony White, Gary Yohe, Ernesto Zedillo, Zou Ji.

また、ブラジル、カナダ、中国、EC、フランス、ドイツ、アイスランド、インド、日本、メキシコ、ノルウェー、ロシア、南アフリカ、米国を訪問した際に、我々を助けてくれた指導者、当局関係者、研究者、NGOスタッフ、そして産業界の皆様にも御礼申し上げます。

また、我々に助言をくれた産業界のリーダーや企業代表者の皆様、とくにJohn Browne, Paul Golby, Jane Milne, Vincent de Rivaz, James Smith, Adair Turnerと、Corporate Leaders Groupに謝意を表す。

同じく、支援と助言をくれた以下のNGOの方々にも謝辞を送る。Christian Aid, The Climate Group, Friends of the Earth, Global Cool, Green Alliance, Greenpeace, IIED, IPPR, New Economics Foundation, Oxfam, Practical Action, RSPB, Stop Climate Chaos, Tearfund, Women's Institute, WWF UK.

最後に、オーストラリア政府の Antarctic Division に、我々のロゴとして図柄を使用許可してくれたことに、David Barnett にはロゴのデザインをしてくれたことに感謝申し上げます。

Executive Summary

The scientific evidence is now overwhelming: climate change presents very serious global risks, and it demands an urgent global response.

This independent Review was commissioned by the Chancellor of the Exchequer, reporting to both the Chancellor and to the Prime Minister, as a contribution to assessing the evidence and building understanding of the economics of climate change.

The Review first examines the evidence on the economic impacts of climate change itself, and explores the economics of stabilising greenhouse gases in the atmosphere. The second half of the Review considers the complex policy challenges involved in managing the transition to a low-carbon economy and in ensuring that societies can adapt to the consequences of climate change that can no longer be avoided.

The Review takes an international perspective. Climate change is global in its causes and consequences, and international collective action will be critical in driving an effective, efficient and equitable response on the scale required. This response will require deeper international co-operation in many areas - most notably in creating price signals and markets for carbon, spurring technology research, development and deployment, and promoting adaptation, particularly for developing countries.

Climate change presents a unique challenge for economics: it is the greatest and widest-ranging market failure ever seen. The economic analysis must therefore be global, deal with long time horizons, have the economics of risk and uncertainty at centre stage, and examine the possibility of major, non-marginal change. To meet these requirements, the Review draws on ideas and techniques from most of the important areas of economics, including many recent advances.

The benefits of strong, early action on climate change outweigh the costs

The effects of our actions now on future changes in the climate have long lead times. What we do now can have only a limited effect on the climate over the next 40 or 50 years. On the other hand what we do in the next 10 or 20 years can have a profound effect on the climate in the second half of this century and in the next.

No-one can predict the consequences of climate change with complete certainty; but we now know enough to understand the risks. Mitigation - taking strong action to reduce emissions - must be viewed as an investment, a cost incurred now and in the coming few decades to avoid the risks of very severe consequences in the future. If these investments are made wisely, the costs will be manageable, and there will be a wide range of opportunities for growth and development along the way. For this to work well, policy must promote sound market signals, overcome market failures and have equity and risk mitigation at its core. That essentially is the conceptual framework of this Review.

The Review considers the economic costs of the impacts of climate change, and the costs and benefits of action to reduce the emissions of greenhouse gases (GHGs) that cause it, in three different ways:

- Using disaggregated techniques, in other words considering the physical impacts of climate change on the economy, on human life and on the

概要

科学的な知見は、現在、圧倒的に次のことを示している。気候変動はきわめて深刻な地球規模の危機であり、世界規模での対策が今すぐ必要である。

この独立したレビューは、気候変動の経済学の知見を提供し理解を進めるよう、英国財務大臣によって依頼され、英国財務大臣および英国首相に報告された。

本レビューの前半では、気候変動に伴う経済的影響に関する知見を検証するとともに、大気中の温室効果ガスを安定化させるために必要なコスト^{*}を検討した。後半では、低炭素経済へどのように移行させるのか、および、もはや避けることのできない気候変動の影響に対して我々の社会はどのように適応していくのか、に関する複雑な政策課題を検討する。

本レビューは、国際的な視野で検討している。気候変動は、その原因と結果のいずれもが地球規模であり、効果的・効率的かつ衡平な対策をそれぞれ必要とされる規模で進めるためには、国際的に協調した行動が欠かせない。多くの分野において、いっそう緊密な国際協力が求められるだろう。とりわけ、炭素の価格シグナルを明示し炭素市場を形成すること、技術開発および普及を促進させること、特に発展途上国を対象とした適応策を進めること、が求められるだろう。

気候変動は、経済学に対して今までにない類の挑戦を迫っている。それは、未だかつて見られなかった、非常に深刻で広範囲におよぶ市場の失敗である。それゆえ、この問題に対処する経済的な分析手法は、世界全体を対象にして、長期の時間スケールを視野にいれ、将来のリスクと不確実性を中心に据えて、重要で見過ごすことのできない変化の可能性を明らかにしなければならない。上記の要件を満たすため、本レビューでは、最先端なものも含めた経済学の主要分野における考え方や手法を活用している。

気候変動に対する強固かつ早期の対策を行うことによる便益は、そのコストを上回る

将来の気候変動に対する対策を今すぐ実施したとしても、その効果が現れるまでには、長い時間がかかる。我々が現時点で行っている対策は、今後40～50年を超える気候に対して、きわめて限定的な効果しか及ぼさない。しかし、今後10～20年間に我々が行う対策は、今世紀後半から22世紀にかけての気候に対して劇的な効果を及ぼす。

気候変動に伴う影響を、確実に予測することは不可能である。しかし、我々は、気候変動に伴う影響のリスクを十分に理解することができる。緩和策—温室効果ガスの排出量を削減する対策—は投資と見なすべきである。現在から今後数十年間に支払われる対策コストは、将来ひき起されるであろう深刻な温暖化影響のリスクを回避するために有効だからである。もし、このような投資が賢明に行われるのなら、対処できる範囲のコストに抑えることができるだけでなく、さらに、成長と発展の幅広い機会を得るチャンスとなる。このため、政策は、市場シグナルの健全化の促進、市場の失敗の克服、衡平性とリスクの緩和、を中心に据えて立案されなければならない。これが、本レビューの基本的な概念的枠組みである。

本レビューでは、気候変動の影響による経済的なコストと、気候変動をもたらす温室効果ガスの排出削減対策で必要になるコスト、さらに排出削減対策によってもたらされる便益について、次の3つの手法で分析した。

- 個別の要素を見る方法、つまり、気候変動が経済活動、人間の生活、環境に及ぼす物理的な影響を一つずつ明らかにし、温室効果ガスを削減する様々な対策技術や方策に必要な

^{*}[訳注]コストには、温暖化による「被害額」と、温暖化防止のための「対策費用」の2つの意味合いがある。できる限り区別して訳したが、両者の意味を含むと思われるものについては「コスト」と表現した。

STERN REVIEW: The Economics of Climate Change

environment, and examining the resource costs of different technologies and strategies to reduce greenhouse gas emissions;

- Using economic models, including integrated assessment models that estimate the economic impacts of climate change, and macro-economic models that represent the costs and effects of the transition to low-carbon energy systems for the economy as a whole;
- Using comparisons of the current level and future trajectories of the 'social cost of carbon' (the cost of impacts associated with an additional unit of greenhouse gas emissions) with the marginal abatement cost (the costs associated with incremental reductions in units of emissions).

From all of these perspectives, the evidence gathered by the Review leads to a simple conclusion: the benefits of strong, early action considerably outweigh the costs.

The evidence shows that ignoring climate change will eventually damage economic growth. Our actions over the coming few decades could create risks of major disruption to economic and social activity, later in this century and in the next, on a scale similar to those associated with the great wars and the economic depression of the first half of the 20th century. And it will be difficult or impossible to reverse these changes. Tackling climate change is the pro-growth strategy for the longer term, and it can be done in a way that does not cap the aspirations for growth of rich or poor countries. The earlier effective action is taken, the less costly it will be.

At the same time, given that climate change is happening, measures to help people adapt to it are essential. And the less mitigation we do now, the greater the difficulty of continuing to adapt in future.

なコストを積み上げる分析手法

- 経済モデルを用いた手法、つまり、気候変動の経済的影響を推定できる統合評価モデルや、経済システムが低炭素エネルギーシステムへ移行するのに必要なコストと効果を検討できるマクロ経済学モデルを用いた分析手法
- コストを比較する手法、つまり、限界削減費用（排出量を1単位追加的に削減させるのにかかる温暖化対策のコスト）と「炭素の社会的コスト」（排出量を追加的に1単位増加させたときにもたらされる温暖化影響のコスト）が、現在から将来にかけてどのように変化するか、を比較する分析手法

上記のすべての観点を踏まえて、本レビューで集められた知見を総合すると、ひとつの単純な結論に辿り着く。つまり、強固で早期な対策によりもたらされる便益は、対策を講じなかった場合の被害額を大きく上回る。

本レビューで得られた知見は、気候変動を無視すると、結果的に経済発展が阻害されることを示している。これから20～30年を超えて我々がとる行動には、今世紀の末から来世紀にかけて、経済や社会活動に大規模な混乱を引き起こすリスクがある。このリスクの規模は、二度の世界大戦や20世紀前半の世界経済恐慌に匹敵するものだ。そして、一度引き起こされた変化を元に戻すことは難しく、ほぼ不可能である。一方、気候変動問題への取り組みは、長期的に見ると経済成長をも促進する。そして、豊かな国と貧しい国のいずれにおいても経済成長への望みを抑制することなく実現できる。早期に効果的な対策を実施するほど、対策コストを低く抑えることができる。

同時に、気候変動はすでに現実に起きていて、人々が気候変動に適応するように支援する方が不可欠である。緩和策が遅れば遅れるほど、将来適応することは難しくなる。

The first half of the Review considers how the evidence on the economic impacts of climate change, and on the costs and benefits of action to reduce greenhouse gas emissions, relates to the conceptual framework described above.

The scientific evidence points to increasing risks of serious, irreversible impacts from climate change associated with business-as-usual (BAU) paths for emissions.

The scientific evidence on the causes and future paths of climate change is strengthening all the time. In particular, scientists are now able to attach probabilities to the temperature outcomes and impacts on the natural environment associated with different levels of stabilisation of greenhouse gases in the atmosphere. Scientists also now understand much more about the potential for dynamic feedbacks that have, in previous times of climate change, strongly amplified the underlying physical processes.

The stocks of greenhouse gases in the atmosphere (including carbon dioxide, methane, nitrous oxides and a number of gases that arise from industrial processes) are rising, as a result of human activity. The sources are summarised in Figure 1 below.

The current level or stock of greenhouse gases in the atmosphere is equivalent to around 430 parts per million (ppm) CO₂¹, compared with only 280ppm before the Industrial Revolution. These concentrations have already caused the world to warm by more than half a degree Celsius and will lead to at least a further half degree warming over the next few decades, because of the inertia in the climate system.

Even if the annual flow of emissions did not increase beyond today's rate, the stock of greenhouse gases in the atmosphere would reach double pre-industrial levels by 2050 - that is 550ppm CO₂e - and would continue growing thereafter. But the annual flow of emissions is accelerating, as fast-growing economies invest in high-carbon infrastructure and as demand for energy and transport increases around the world. The level of 550ppm CO₂e could be reached as early as 2035. At this level there is at least a 77% chance - and perhaps up to a 99% chance, depending on the climate model used - of a global average temperature rise exceeding 2°C.

¹ Referred to hereafter as CO₂ equivalent, CO₂e

本レビューの前半では、気候変動による経済的影響および温室効果ガス排出削減に係る対策コストと便益に関する知見が、前述した概念的枠組みとどのように関連づけられるかを検討する。

科学的知見からは、温室効果ガス排出量が BAU (Business as Usual) [†] ケースに従って推移した場合に、気候変動による深刻かつ不可逆的な影響のリスクが増大しつづけることが示されている

気候変動の原因と将来の推移に関する科学的知見は、年々強化されつつある。とくに科学者たちは、様々な大気中の温室効果ガス安定化レベルにおける気温変化や自然環境への影響を、確率を用いて語るができるようになった。また、過去の気候変動の際に関連した物理プロセスによって生じた影響の増幅効果を示した、ダイナミックフィードバック[‡]のポテンシャルについても理解を深めている。

二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素や、産業プロセスから排出された様々な温室効果ガスの大気貯留量は、人間活動の結果として増加し続けている。図1は、温室効果ガスの排出源をまとめたものである。

温室効果ガスの大気中濃度は、産業革命以前にはCO₂換算にして280 ppmにすぎなかったが、現在はおよそ430 ppm¹⁾のレベルである。大気中濃度の増加により、全球平均気温（地球全体の平均気温）はすでに0.5°C上昇しているが、気候システムには慣性（inertia）があるために、今後数十年にわたって少なくともあと0.5°C以上上昇すると見られている。

年間の温室効果ガス排出量が今後現在の水準にて安定化させたとしても、大気中濃度は2050年までに産業革命以前のレベルの2倍（CO₂換算550 ppm）に達し、その後も上昇し続けることになる。しかし、実際には、経済発展の著しい地域では、高炭素インフラストラクチャー[§]への投資が進み、世界全体ではエネルギー需要と交通需要が増加するために、温室効果ガスの年間排出量は増加し続ける。早ければ2035年にも、CO₂換算550 ppmに達する可能性がある。大気中濃度がこの水準に達すると、全球平均気温が産業革命以前に比べて2°C以上上昇する確率は少なくとも77%、気候モデルによっては99%となる。

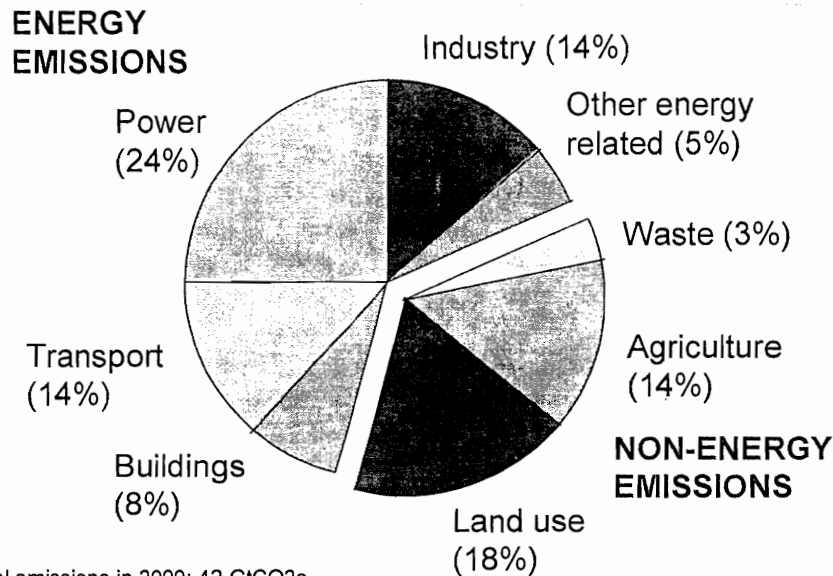
1) 以降、CO₂換算値をCO₂eと表記する。（[訳注]和訳ではCO₂換算と記述）

[†] [訳注] 対策を行わないケース。

[‡] [訳注] 例えば、二酸化炭素の増加による温室効果で大気の温度が上昇するに伴って大気中の水蒸気量が増大し、更に温室効果が強まるという「水蒸気フィードバック」など、気候システムには様々なフィードバック過程が存在すると考えられている。

[§] [訳注] エネルギー効率が低く、石炭や石油など炭素含有量の高い化石燃料を利用しているインフラストラクチャーを指す。例えば、運輸部門では、従来型自動車に基づくハイウェイシステムが高炭素インフラストラクチャーであり、電車に基づく鉄道システムが低炭素インフラストラクチャーである。

Figure 1 Greenhouse-gas emissions in 2000, by source



Total emissions in 2000: 42 GtCO₂e.

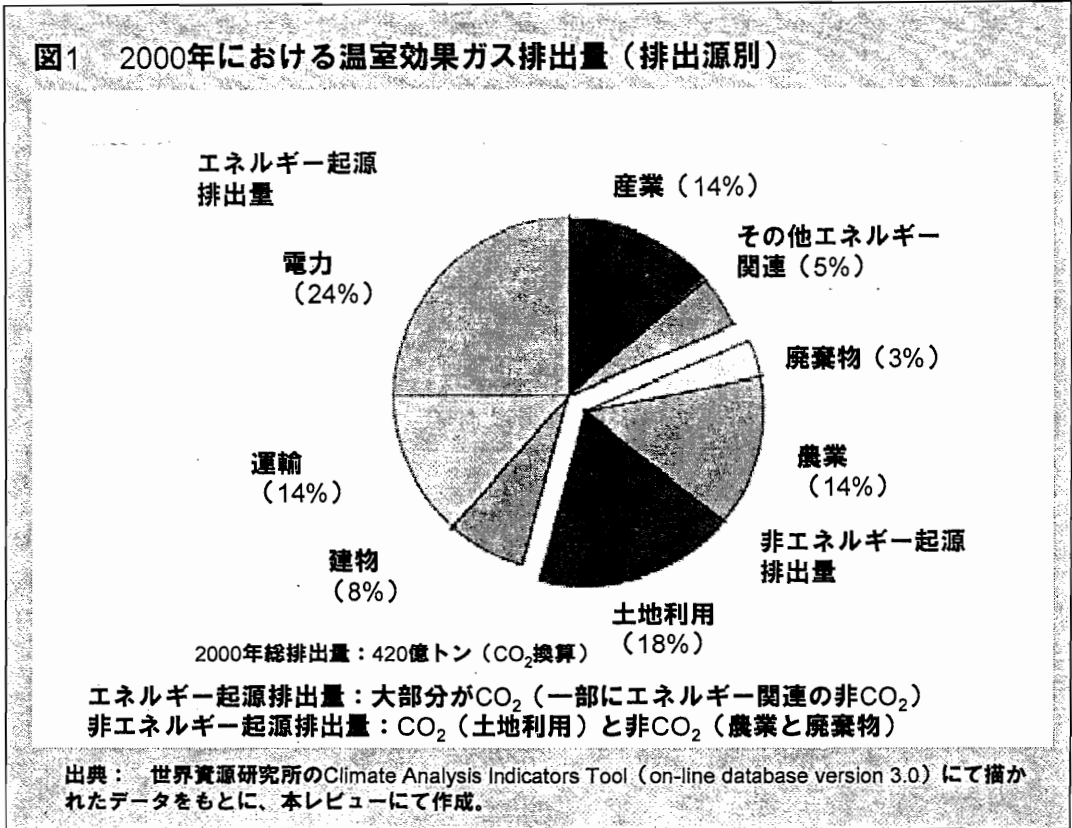
Energy emissions are mostly CO₂ (some non-CO₂ in industry and other energy related).
Non-energy emissions are CO₂ (land use) and non-CO₂ (agriculture and waste).

Source: Prepared by Stern Review, from data drawn from World Resources Institute Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) on-line database version 3.0.

Under a BAU scenario, the stock of greenhouse gases could more than treble by the end of the century, giving at least a 50% risk of exceeding 5°C global average temperature change during the following decades. This would take humans into unknown territory. An illustration of the scale of such an increase is that we are now only around 5°C warmer than in the last ice age.

Such changes would transform the physical geography of the world. A radical change in the physical geography of the world must have powerful implications for the human geography - where people live, and how they live their lives.

Figure 2 summarises the scientific evidence of the links between concentrations of greenhouse gases in the atmosphere, the probability of different levels of global average temperature change, and the physical impacts expected for each level. The risks of serious, irreversible impacts of climate change increase strongly as concentrations of greenhouse gases in the atmosphere rise.



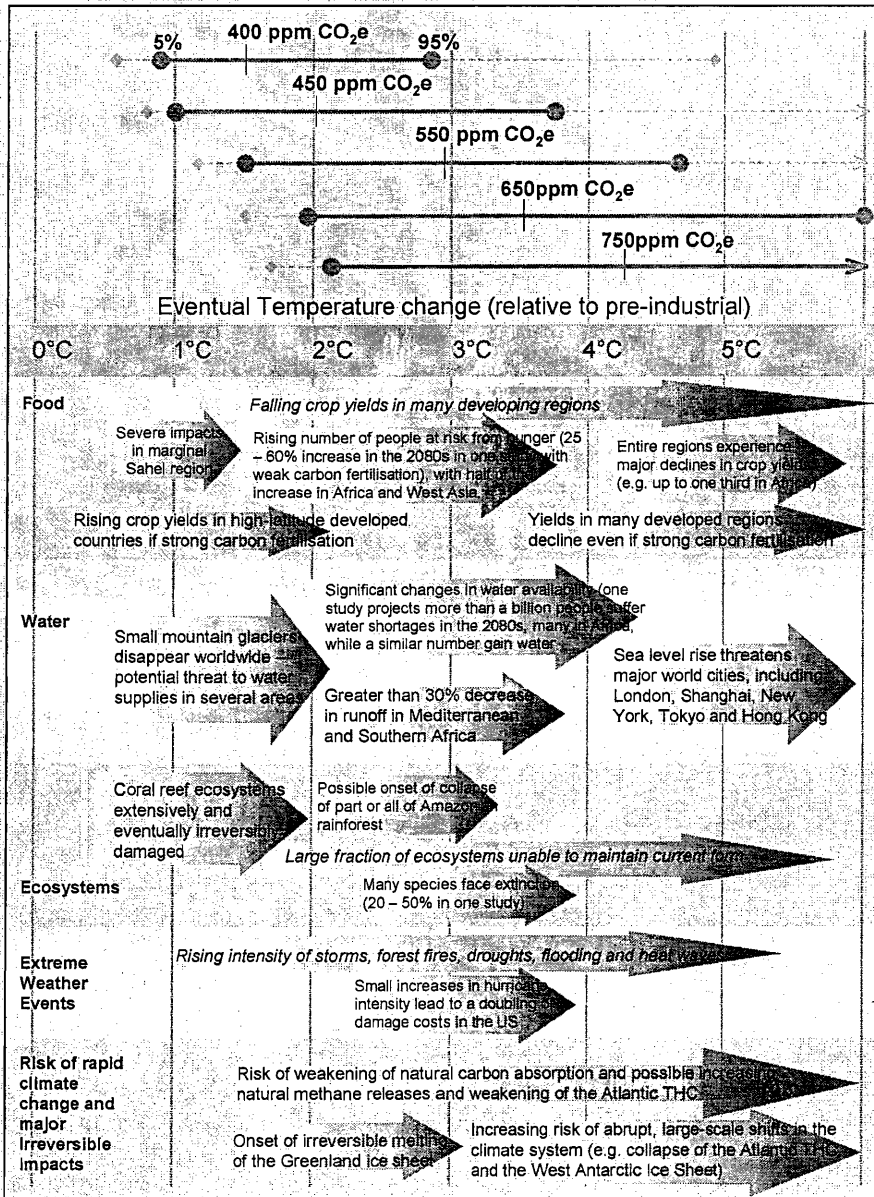
BAU シナリオでは、大気中温室効果ガス濃度は今世紀末までに3倍以上になる可能性があり、今世紀末から数十年間に全球平均気温が5℃以上上昇するリスクは、少なくとも50%の確率となる。このような変化は、人類がいまだかつて経験したことのないものである。最後の氷河期と今日の全球平均気温との差が5℃であり、この気温変化がいかに大きなものであるかがわかる。

このような劇的な気温の変化は、地球の自然地理を変えるであろう。地球の自然地理が大規模に変化すると、人類地理へも大きな影響を及ぼす。つまり、人々がどこに住むか、どのように生活するかが大きく変化するのである。

図2は、温室効果ガスの大気中濃度、全球平均気温の変化レベルおよびその確率、気温レベルごとに予測される物理的影響に関する科学的知見をまとめたものである。温室効果ガスの大気中濃度の上昇とともに、気候変動による深刻かつ不可逆的な影響のリスクは相当増大する。

Figure 2 Stabilisation levels and probability ranges for temperature increases

The figure below illustrates the types of impacts that could be experienced as the world comes into equilibrium with more greenhouse gases. The top panel shows the range of temperatures projected at stabilisation levels between 400ppm and 750ppm CO₂e at equilibrium. The solid horizontal lines indicate the 5 - 95% range based on climate sensitivity estimates from the IPCC 2001² and a recent Hadley Centre ensemble study³. The vertical line indicates the mean of the 50th percentile point. The dashed lines show the 5 - 95% range based on eleven recent studies⁴. The bottom panel illustrates the range of impacts expected at different levels of warming. The relationship between global average temperature changes and regional climate changes is very uncertain, especially with regard to changes in precipitation (see Box 4.2). This figure shows potential changes based on current scientific literature.



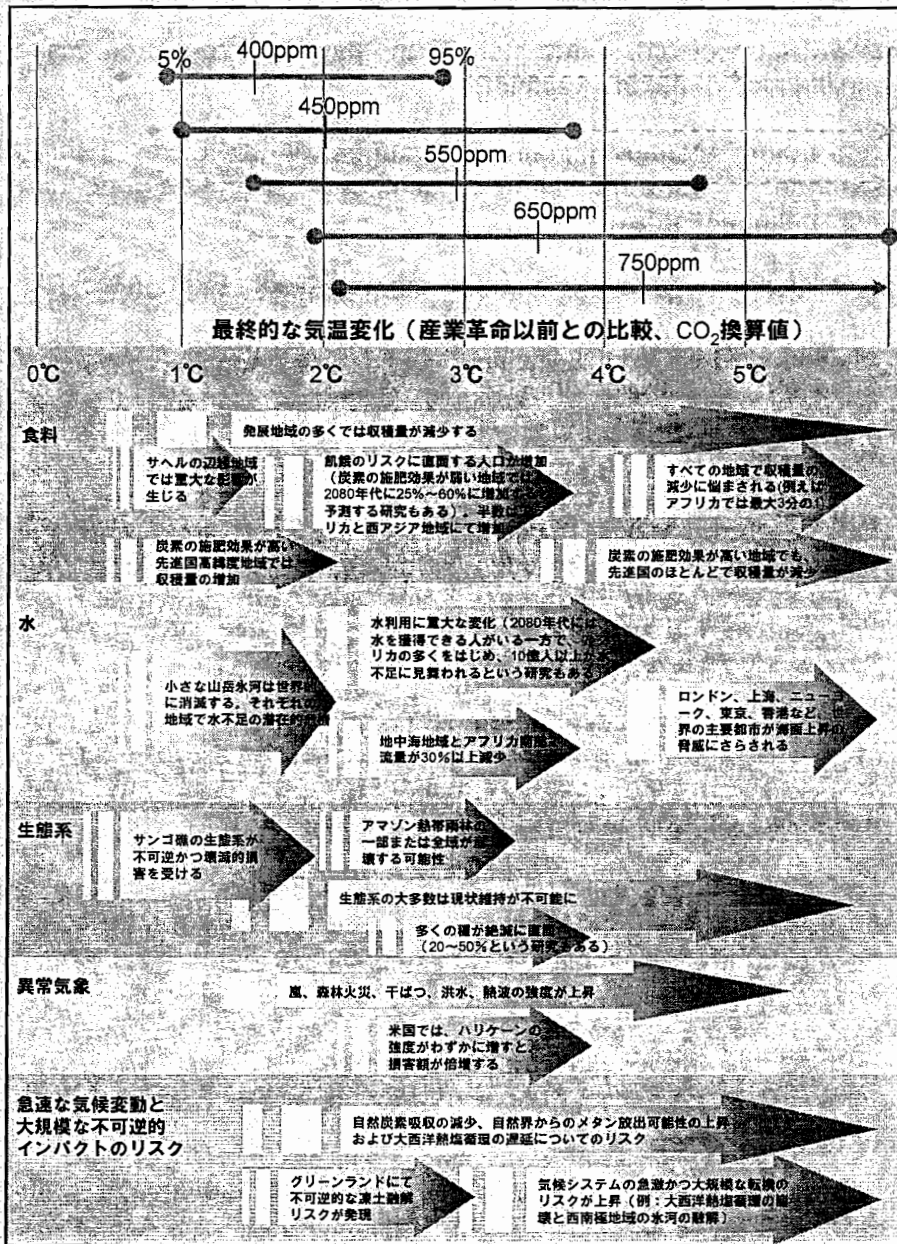
² Wigley, T.M.L. and S.C.B. Raper (2001): 'Interpretation of high projections for global-mean warming', *Science* **293**: 451-454 based on Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): 'Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change' [Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, et al. (eds.)], Cambridge: Cambridge University Press.

³ Murphy, J.M., D.M.H. Sexton D.N. Barnett et al. (2004): 'Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations', *Nature* **430**: 768 - 772

⁴ Meinshausen, M. (2006): 'What does a 2°C target mean for greenhouse gas concentrations? A brief analysis based on multi-gas emission pathways and several climate sensitivity uncertainty estimates', *Avoiding dangerous climate change*, in H.J. Schellnhuber et al. (eds.), Cambridge: Cambridge University Press, pp.265 - 280.

図2 安定化レベルと気温上昇幅の確率

下図は、温室効果ガスが今後増加して、ある水準にて安定化した際の、予想される気温変化と世界的な影響をまとめたものである。上部は、CO₂換算400~750ppmの安定化レベルにおけるそれぞれのケースにて予想される気温変化の範囲を示す。水平実線は、IPCC2001²と最新のHadley Centreのアンサンブル実験³によって見積もられた気候感度に基づく5~95%水準を示す。垂直線は平均値を示す。破線は最近の11研究⁴において示された5~95%水準である。下部パネルには、温暖化の影響と気温の関係を示した。全球平均気温の変化と地域的な気候変化との関係は、不確定である。特に、降水量変化に関する不確実性はかなり大きい（本文のBOX4.2参照）。この図は最近の科学論文をもとにして、変化が起こりうる可能性の範囲を示している。



² Wigley, T.M.L. and S.C.B. Raper (2001): 'Interpretation of high projections for global-mean warming', Science 293: 451-454 based on Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): 'Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change' [Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, et al. (eds.)], Cambridge: Cambridge University Press.

³ Murphy, J.M., D.M.H. Sexton D.N. Barnett et al. (2004): 'Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations', Nature 430: 768 - 772

⁴ Meinshausen, M. (2006): 'What does a 2°C target mean for greenhouse gas concentrations? A brief analysis based on multi-gas emission pathways and several climate sensitivity uncertainty estimates', Avoiding dangerous climate change, in H.J. Schellnhuber et al. (eds.), Cambridge: Cambridge University Press, pp.265 - 280.

Climate change threatens the basic elements of life for people around the world - access to water, food production, health, and use of land and the environment.

Estimating the economic costs of climate change is challenging, but there is a range of methods or approaches that enable us to assess the likely magnitude of the risks and compare them with the costs. This Review considers three of these approaches.

This Review has first considered in detail the physical impacts on economic activity, on human life and on the environment.

On current trends, average global temperatures will rise by 2 - 3°C within the next fifty years or so.⁵ The Earth will be committed to several degrees more warming if emissions continue to grow.

Warming will have many severe impacts, often mediated through water:

- Melting glaciers will initially increase flood risk and then strongly reduce water supplies, eventually threatening one-sixth of the world's population, predominantly in the Indian sub-continent, parts of China, and the Andes in South America.
- Declining crop yields, especially in Africa, could leave hundreds of millions without the ability to produce or purchase sufficient food. At mid to high latitudes, crop yields may increase for moderate temperature rises (2 - 3°C), but then decline with greater amounts of warming. At 4°C and above, global food production is likely to be seriously affected.
- In higher latitudes, cold-related deaths will decrease. But climate change will increase worldwide deaths from malnutrition and heat stress. Vector-borne diseases such as malaria and dengue fever could become more widespread if effective control measures are not in place.
- Rising sea levels will result in tens to hundreds of millions more people flooded each year with warming of 3 or 4°C. There will be serious risks and increasing pressures for coastal protection in South East Asia (Bangladesh and Vietnam), small islands in the Caribbean and the Pacific, and large coastal cities, such as Tokyo, New York, Cairo and London. According to one estimate, by the middle of the century, 200 million people may become permanently displaced due to rising sea levels, heavier floods, and more intense droughts.
- Ecosystems will be particularly vulnerable to climate change, with around 15 - 40% of species potentially facing extinction after only 2°C of warming. And ocean acidification, a direct result of rising carbon dioxide levels, will have major effects on marine ecosystems, with possible adverse consequences on fish stocks.

⁵ All changes in global mean temperature are expressed relative to pre-industrial levels (1750 - 1850).

気候変動は、水へのアクセス、食糧生産、健康、土地と自然環境の利用といった、世界中の人々の生活基盤を脅かすものである

気候変動の経済的コストを推計することは難題である。しかし、リスクの規模を見積もり、対策費用と比較できるような方法やアプローチはある。本レビューでは、その中から3つのアプローチを用いて検討する。

まず気候変動が経済活動、人間の生活、環境に及ぼす物理的影響について詳しく検討する。

現在の状況が今後も継続するならば、全球平均気温は今後50年以内に2~3℃上昇する⁵⁾。温室効果ガス排出量が増加し続けるのであれば、さらに数℃の温暖化は避けられない。

温暖化によって、多くの深刻な影響が現れる。影響には、水が介在していることが多い。

- 氷河の溶解は、まず洪水のリスクを増大させる。その後、水供給量の大幅な減少につながる。これらの影響範囲は、最終的には世界人口の六分の一にまで拡大する。この範囲には、インド全域、中国の一部、南アメリカのアンデスが含まれる
- とくにアフリカにおける穀物収量の減少は、数億人が必要最低限の食物を生産できない、あるいは購入できなくなる事態をまねく。中高緯度地域では、中程度の温度上昇（2~3℃）により穀物収量は増加するだろう。しかし、温度が3℃以上に上昇すると、収量は減少し始める。平均気温が4℃以上上昇する場合には、地球全体の食料生産は深刻な影響を受けることになる
- 高緯度地域では、低温が原因となる死者数は減少する。しかし世界全体では、気候変動により栄養失調や熱ストレスによる死者数は増加する。適切な抑制策なしには、マラリアやデング熱のような動物を媒介とする病気の蔓延を止めることはできない
- 全球平均気温が3~4℃上昇すると、海水面の上昇によって毎年数千万人から数億人単位の人々が洪水の危機にさらされることになる。東南アジア地域（バングラデシュとベトナム）、カリブ海および太平洋の小諸島、そして東京、ニューヨーク、カイロ、ロンドンなどの海岸沿いの大都市では、深刻な洪水のリスクと、沿岸を防護する必要性が生じる。ある予測によると、今世紀の半ばまでに、海水面の上昇、より大規模な洪水、そして厳しい干ばつによって、2億人が本格的な移住を余儀なくされると見積もられている
- 生態系は、気候変動に対してとりわけ脆弱である。平均気温がわずか2℃上昇しても、15~40%の種が絶滅の危機にさらされる可能性がある。海水の酸性度は、二酸化炭素の大気中濃度の影響を直接受けており、海水が酸性化することにより海洋の生態系に大きな影響を与え、漁獲量が減少する可能性がある

⁵⁾ 全球平均気温は、産業革命以前（1750~1850年）の平均値を基準値としている。

The damages from climate change will accelerate as the world gets warmer.

Higher temperatures will increase the chance of triggering abrupt and large-scale changes.

- Warming may induce sudden shifts in regional weather patterns such as the monsoon rains in South Asia or the El Niño phenomenon - changes that would have severe consequences for water availability and flooding in tropical regions and threaten the livelihoods of millions of people.
- A number of studies suggest that the Amazon rainforest could be vulnerable to climate change, with models projecting significant drying in this region. One model, for example, finds that the Amazon rainforest could be significantly, and possibly irrevocably, damaged by a warming of 2 - 3°C.
- The melting or collapse of ice sheets would eventually threaten land which today is home to 1 in every 20 people.

While there is much to learn about these risks, the temperatures that may result from unabated climate change will take the world outside the range of human experience. This points to the possibility of very damaging consequences.

The impacts of climate change are not evenly distributed - the poorest countries and people will suffer earliest and most. And if and when the damages appear it will be too late to reverse the process. Thus we are forced to look a long way ahead.

Climate change is a grave threat to the developing world and a major obstacle to continued poverty reduction across its many dimensions. First, developing regions are at a geographic disadvantage: they are already warmer, on average, than developed regions, and they also suffer from high rainfall variability. As a result, further warming will bring poor countries high costs and few benefits. Second, developing countries - in particular the poorest - are heavily dependent on agriculture, the most climate-sensitive of all economic sectors, and suffer from inadequate health provision and low-quality public services. Third, their low incomes and vulnerabilities make adaptation to climate change particularly difficult.

Because of these vulnerabilities, climate change is likely to reduce further already low incomes and increase illness and death rates in developing countries. Falling farm incomes will increase poverty and reduce the ability of households to invest in a better future, forcing them to use up meagre savings just to survive. At a national level, climate change will cut revenues and raise spending needs, worsening public finances.

Many developing countries are already struggling to cope with their current climate. Climatic shocks cause setbacks to economic and social development in developing countries today even with temperature increases of less than 1°C. The impacts of unabated climate change, - that is, increases of 3 or 4°C and upwards - will be to increase the risks and costs of these events very powerfully.

Impacts on this scale could spill over national borders, exacerbating the damage further. Rising sea levels and other climate-driven changes could drive millions of people to migrate: more than a fifth of Bangladesh could be under water with a 1m rise in sea levels, which is a possibility by the end of the century. Climate-related

気候変動による被害は温暖化が進むにつれ急激に増加する

気温の上昇に伴って、急激かつ大規模な変化が起こる可能性が増加する。

- 温暖化は、南アジアのモンスーンやエルニーニョ現象のような、地域の天候パターンに急激な変化をもたらす可能性がある。さらに、天候の変化は、水供給量や熱帯地方の洪水などに深刻な影響を及ぼし、何百万人もの生活を脅かす可能性がある
- 多くの研究が、アマゾンの熱帯雨林が気候変動に対して脆弱であると指摘しており、モデルの多くがアマゾン地域の乾燥化が深刻化すると予測している。例えばあるモデルでは、アマゾンの熱帯雨林は、気温が 2~3℃上昇するだけで深刻かつ恐らく取り返しのつかない被害を受けるだろうと予測している
- 氷床の溶解や崩壊は、最終的には世界人口の 20 分の 1 が住む土地への脅威となる

これらのリスクについては、まだまだ学ぶべきことが多い。一方、止まることなく続く気候変動の結果としての気温変化により、世界は人類が未だかつて経験したことのない領域へ踏み出すことになる。このことは、非常に壊滅的な結果をもたらされる可能性があるということを示すものである。

気候変動の影響は均一に起こるものではなく、最貧国とその国に暮らす人々が、いち早くまたより大きな影響を受ける。そして、被害が顕在化してしまった時には、すでにそのプロセスを止めるには遅すぎるのである。したがって、我々はかなり先を見据えて対策を実施しなければならない

気候変動は、発展途上地域にとって憂慮すべき脅威であり、様々な面において貧困解消への大きな障害となっている。第一に、発展途上地域は先進国と比較して温暖な場合が多く、降雨パターンの大きな変化によって被害を受けやすい。したがって、温暖化の進行に伴いコスト負担は高額となるが、便益は少ない。第二に、発展途上国は、農業に依存していることが多い。これは、貧しい国々では特に顕著である。農業は、経済部門の中でももっとも気候変動の影響を受けやすい。また、このような国々では健康への対策が不十分であり、公共サービスの質も悪い。第三に、これらの国々は低所得かつ所得構造が脆弱なために、気候変動への適応策実施が難しいものとなっている。

このような脆弱性により、発展途上国では気候変動は既に低水準にある所得をさらに引き下げ、罹患率や死亡率を上昇することになるだろう。農業収入の減少は貧困を増大させ、わずかな蓄えは生き延びるために使わざるを得ず、一般家庭のより良い将来に対する投資能力を低下させる。国家レベルでは、気候変動によって歳入は減少し、必要経費が増大して国家財政の悪化につながる。

発展途上国の多くでは、現在でも気候による不利益を克服するための困難に直面している。気温上昇がたとえ 1℃未満であっても、それによって生じる気候的な打撃は、発展途上国が現在取り組んでいる経済的、社会的な発展の妨げとなる。気温上昇が 3℃や 4℃以上まで続くようであれば、その影響はリスクとコストを激しく押し上げることになる。

大規模な気候変動の影響は、国内の被害増加のみならず、国境を越えた波及効果を持つ。海水面の上昇や他の気候変動に伴う変化は、何百万人規模の人口移動の原因となる。今世紀末までに海水面は 1m 上昇すると予測されているが、バングラデシュでは国土面積の 5 分の 1 が水没する可能性があるということである。

STERN REVIEW: The Economics of Climate Change

shocks have sparked violent conflict in the past, and conflict is a serious risk in areas such as West Africa, the Nile Basin and Central Asia.

Climate change may initially have small positive effects for a few developed countries, but is likely to be very damaging for the much higher temperature increases expected by mid- to late-century under BAU scenarios.

In higher latitude regions, such as Canada, Russia and Scandinavia, climate change may lead to net benefits for temperature increases of 2 or 3°C, through higher agricultural yields, lower winter mortality, lower heating requirements, and a possible boost to tourism. But these regions will also experience the most rapid rates of warming, damaging infrastructure, human health, local livelihoods and biodiversity.

Developed countries in lower latitudes will be more vulnerable - for example, water availability and crop yields in southern Europe are expected to decline by 20% with a 2°C increase in global temperatures. Regions where water is already scarce will face serious difficulties and growing costs.

The increased costs of damage from extreme weather (storms, hurricanes, typhoons, floods, droughts, and heat waves) counteract some early benefits of climate change and will increase rapidly at higher temperatures. Based on simple extrapolations, costs of extreme weather alone could reach 0.5 - 1% of world GDP per annum by the middle of the century, and will keep rising if the world continues to warm.

- A 5 or 10% increase in hurricane wind speed, linked to rising sea temperatures, is predicted approximately to double annual damage costs, in the USA.
- In the UK, annual flood losses alone could increase from 0.1% of GDP today to 0.2 - 0.4% of GDP once the increase in global average temperatures reaches 3 or 4°C.
- Heat waves like that experienced in 2003 in Europe, when 35,000 people died and agricultural losses reached \$15 billion, will be commonplace by the middle of the century.

At higher temperatures, developed economies face a growing risk of large-scale shocks - for example, the rising costs of extreme weather events could affect global financial markets through higher and more volatile costs of insurance.

Integrated assessment models provide a tool for estimating the total impact on the economy; our estimates suggest that this is likely to be higher than previously suggested.

The second approach to examining the risks and costs of climate change adopted in the Review is to use integrated assessment models to provide aggregate monetary estimates.

Formal modelling of the overall impact of climate change in monetary terms is a formidable challenge, and the limitations to modelling the world over two centuries or more demand great caution in interpreting results. However, as we have explained, the lags from action to effect are very long and the quantitative analysis needed to inform action will depend on such long-range modelling exercises. The monetary impacts of climate change are now expected to be more serious than many earlier studies suggested, not least because those studies tended to exclude some of the

気候変動による被害は温暖化が進むにつれ急激に増加する

気温の上昇に伴って、急激かつ大規模な変化が起こる可能性が増加する。

- 温暖化は、南アジアのモンスーンやエルニーニョ現象のような、地域の天候パターンに急激な変化をもたらす可能性がある。さらに、天候の変化は、水供給量や熱帯地方の洪水などに深刻な影響を及ぼし、何百万人もの生活を脅かす可能性がある
- 多くの研究が、アマゾンの熱帯雨林が気候変動に対して脆弱であると指摘しており、モデルの多くがアマゾン地域の乾燥化が深刻化すると予測している。例えばあるモデルでは、アマゾンの熱帯雨林は、気温が 2~3℃上昇するだけで深刻かつ恐らく取り返しのつかない被害を受けるだろうと予測している
- 氷床の溶解や崩壊は、最終的には世界人口の 20 分の 1 が住む土地への脅威となる

これらのリスクについては、まだまだ学ぶべきことが多い。一方、止まることなく続く気候変動の結果としての気温変化により、世界は人類が未だかつて経験したことのない領域へ踏み出すことになる。このことは、非常に壊滅的な結果をもたらされる可能性があるということを示すものである。

気候変動の影響は均一に起こるものではなく、最貧国とその国に暮らす人々が、いち早くまたより大きな影響を受ける。そして、被害が顕在化してしまった時には、すでにそのプロセスを止めるには遅すぎるのである。したがって、我々はかなり先を見据えて対策を実施しなければならない

気候変動は、発展途上地域にとって憂慮すべき脅威であり、様々な面において貧困解消への大きな障害となっている。第一に、発展途上地域は先進国と比較して温暖な場合が多く、降雨パターンの大きな変化によって被害を受けやすい。したがって、温暖化の進行に伴いコスト負担は高額となるが、便益は少ない。第二に、発展途上国は、農業に依存していることが多い。これは、貧しい国々では特に顕著である。農業は、経済部門の中でももともと気候変動の影響を受けやすい。また、このような国々では健康への対策が不十分であり、公共サービスの質も悪い。第三に、これらの国々は低所得かつ所得構造が脆弱なために、気候変動への適応策実施が難しいものとなっている。

このような脆弱性により、発展途上国では気候変動は既に低水準にある所得をさらに引き下げ、罹患率や死亡率を上昇することになるだろう。農業収入の減少は貧困を増大させ、わずかな蓄えは生き延びるために使わざるを得ず、一般家庭のより良い将来に対する投資能力を低下させる。国家レベルでは、気候変動によって歳入は減少し、必要経費が増大して国家財政の悪化につながる。

発展途上国の多くでは、現在でも気候による不利益を克服するための困難に直面している。気温上昇がたとえ 1℃未満であっても、それによって生じる気候的な打撃は、発展途上国が現在取り組んでいる経済的、社会的な発展の妨げとなる。気温上昇が 3℃や 4℃以上まで続くようであれば、その影響はリスクとコストを激しく押し上げることになる。

大規模な気候変動の影響は、国内の被害増加のみならず、国境を越えた波及効果を持つ。海水面の上昇や他の気候変動に伴う変化は、何百万人規模の人口移動の原因となる。今世紀末までに海水面は 1m 上昇すると予測されているが、バングラデシュでは国土面積の 5 分の 1 が水没する可能性があるということである。

shocks have sparked violent conflict in the past, and conflict is a serious risk in areas such as West Africa, the Nile Basin and Central Asia.

Climate change may initially have small positive effects for a few developed countries, but is likely to be very damaging for the much higher temperature increases expected by mid- to late-century under BAU scenarios.

In higher latitude regions, such as Canada, Russia and Scandinavia, climate change may lead to net benefits for temperature increases of 2 or 3°C, through higher agricultural yields, lower winter mortality, lower heating requirements, and a possible boost to tourism. But these regions will also experience the most rapid rates of warming, damaging infrastructure, human health, local livelihoods and biodiversity.

Developed countries in lower latitudes will be more vulnerable - for example, water availability and crop yields in southern Europe are expected to decline by 20% with a 2°C increase in global temperatures. Regions where water is already scarce will face serious difficulties and growing costs.

The increased costs of damage from extreme weather (storms, hurricanes, typhoons, floods, droughts, and heat waves) counteract some early benefits of climate change and will increase rapidly at higher temperatures. Based on simple extrapolations, costs of extreme weather alone could reach 0.5 - 1% of world GDP per annum by the middle of the century, and will keep rising if the world continues to warm.

- A 5 or 10% increase in hurricane wind speed, linked to rising sea temperatures, is predicted approximately to double annual damage costs, in the USA.
- In the UK, annual flood losses alone could increase from 0.1% of GDP today to 0.2 - 0.4% of GDP once the increase in global average temperatures reaches 3 or 4°C.
- Heat waves like that experienced in 2003 in Europe, when 35,000 people died and agricultural losses reached \$15 billion, will be commonplace by the middle of the century.

At higher temperatures, developed economies face a growing risk of large-scale shocks - for example, the rising costs of extreme weather events could affect global financial markets through higher and more volatile costs of insurance.

Integrated assessment models provide a tool for estimating the total impact on the economy; our estimates suggest that this is likely to be higher than previously suggested.

The second approach to examining the risks and costs of climate change adopted in the Review is to use integrated assessment models to provide aggregate monetary estimates.

Formal modelling of the overall impact of climate change in monetary terms is a formidable challenge, and the limitations to modelling the world over two centuries or more demand great caution in interpreting results. However, as we have explained, the lags from action to effect are very long and the quantitative analysis needed to inform action will depend on such long-range modelling exercises. The monetary impacts of climate change are now expected to be more serious than many earlier studies suggested, not least because those studies tended to exclude some of the

気候変動に伴う深刻な影響は、過去にも暴力的な国家間紛争の引き金となってきた。このような紛争は、西アフリカ、ナイル盆地、中央アジアでは深刻なリスクとなっている。

気候変動の初期段階では、先進国のいくつかには良い影響をもたらす。しかし、BAU シナリオのもとでは、今世紀の中後半にかけてのより高い温度上昇の場合には、被害はきわめて大きなものとなると予測されている

カナダ、ロシア、スカンジナビア諸国など高緯度の国々では、気候変動による 2~3℃の気温上昇は、農業生産の増大や、冬季の死亡率の低下、観光産業振興の可能性などといった便益をもたらす。しかし、これらの地域も急速な温暖化によって、インフラストラクチャー、健康、地域の生活、生物多様性への被害を避けることはできない。

より低緯度の先進国は、温暖化に対してさらに脆弱である。たとえば、南ヨーロッパでは全球平均気温が 2℃上昇することによって、水供給と食糧生産が 20%減少すると予測されている。すでに水資源が乏しい地域では、水の確保が一層困難となり、供給量確保に係るコストも上昇する。

嵐、ハリケーン、台風、洪水、干ばつ、熱波などの異常気象に伴う損害のコストが上昇すると、当初は確保できていた気候変動による便益を相殺するのみならず、平均気温が上昇するにつれて正味のコストは急激に上昇する。単純に外挿すると、今世紀の中ごろまでに異常気象によるコストだけでも世界の年間 GDP の 0.5~1%に達し、温暖化が進むにつれてコストはさらに増加する。

- 海水温の上昇によってハリケーンの風速が 5~10%上昇すると、米国では年間被害額が現在の 2 倍になると予測されている
- 英国の洪水被害額は、現在は年間 GDP の 0.1%であるが、全球平均気温が 3~4℃上昇すると GDP の 0.2~0.4%に増加する可能性がある
- 欧州では、2003 年の熱波によって 35,000 人が死亡し、農業部門では 150 億ドルもの損害が生じた。今世紀半ばまでには、このような状況は日常茶飯事となるだろう

大気温度がいっそう上昇すると、先進国では気候変動に伴い壊滅的な影響を受けるようなリスクが増大することになる。たとえば、異常気象のコストが上昇すると、保険金額がより高額かつ変動しやすくなり、世界の金融市場に影響を与える。

統合評価モデルは、経済への総合的な影響を予測するためのツールである。この手法を用いた我々の推計によると、気候変動の影響は、従来の研究が示唆しているよりも大きいものである

本レビューで採用した気候変動のリスクと被害額を評価する 2 番目のアプローチとして、被害額の総計を貨幣単位にて評価することを目的として、統合評価モデルを用いた。

気候変動の全体的な影響を、金銭的な観点から本格的にモデル化することはきわめて難しい。また、2 世紀あるいはそれ以上先の世界をモデル化することには限界があり、結果の解釈には慎重にならなければならない。しかし前述したように、気候変動抑制対策が効果を発揮するまでには非常に長い時間がかかるために、定量評価は対策実施に関する情報を提供することが目的であり、数世紀にもわたる長期間を対象としたモデルに依らなくてはならない。今日、気候変動による金銭的影響は、過去の多くの研究が予測したよりも大きな額になると予測されている。これは、過去の研究では不確実性がきわめて高いものの、壊滅的な影響を与える要素を除外していたためである。現在は、不確実性に関する研究が進んだこともあり、このようなリスクを確率により評価することができるようになっている。

most uncertain but potentially most damaging impacts. Thanks to recent advances in the science, it is now possible to examine these risks more directly, using probabilities.

Most formal modelling in the past has used as a starting point a scenario of 2-3°C warming. In this temperature range, the cost of climate change could be equivalent to a permanent loss of around 0-3% in global world output compared with what could have been achieved in a world without climate change. Developing countries will suffer even higher costs.

However, those earlier models were too optimistic about warming: more recent evidence indicates that temperature changes resulting from BAU trends in emissions may exceed 2-3°C by the end of this century. This increases the likelihood of a wider range of impacts than previously considered. Many of these impacts, such as abrupt and large-scale climate change, are more difficult to quantify. With 5-6°C warming - which is a real possibility for the next century - existing models that include the risk of abrupt and large-scale climate change estimate an average 5-10% loss in global GDP, with poor countries suffering costs in excess of 10% of GDP. Further, there is some evidence of small but significant risks of temperature rises even above this range. Such temperature increases would take us into territory unknown to human experience and involve radical changes in the world around us.

With such possibilities on the horizon, it was clear that the modelling framework used by this Review had to be built around the economics of risk. Averaging across possibilities conceals risks. The risks of outcomes much worse than expected are very real and they could be catastrophic. Policy on climate change is in large measure about reducing these risks. They cannot be fully eliminated, but they can be substantially reduced. Such a modelling framework has to take into account ethical judgements on the distribution of income and on how to treat future generations.

The analysis should not focus only on narrow measures of income like GDP. The consequences of climate change for health and for the environment are likely to be severe. Overall comparison of different strategies will include evaluation of these consequences too. Again, difficult conceptual, ethical and measurement issues are involved, and the results have to be treated with due circumspection.

The Review uses the results from one particular model, PAGE2002, to illustrate how the estimates derived from these integrated assessment models change in response to updated scientific evidence on the probabilities attached to degrees of temperature rise. The choice of model was guided by our desire to analyse risks explicitly - this is one of the very few models that would allow that exercise. Further, its underlying assumptions span the range of previous studies. We have used this model with one set of data consistent with the climate predictions of the 2001 report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, and with one set that includes a small increase in the amplifying feedbacks in the climate system. This increase illustrates one area of the increased risks of climate change that have appeared in the peer-reviewed scientific literature published since 2001.

We have also considered how the application of appropriate discount rates, assumptions about the equity weighting attached to the valuation of impacts in poor countries, and estimates of the impacts on mortality and the environment would increase the estimated economic costs of climate change.

従来のモデルでは、将来の温度上昇が 2~3℃となるシナリオを解析の出発点として用いていた。このようなシナリオでは、気候変動によるコストは、気候変動が起こらないと仮定したケースにおける全世界生産額**の 0~3%に相当する。発展途上国では、さらに高額な損害を受けるだろう。

しかしながら、初期のモデルにて示された結果は、あまりにも温暖化を楽観的に捉えているといえるだろう。最近提出された知見に基づくと、排出量が BAU シナリオに沿って推移した場合には、今世紀末までに 2~3℃を超える温度上昇を伴う気候変動が起こると予測される。これは、従来示されてきた以上に、より広範囲の影響が起こる確率が大きいことを示している。急激かつ大規模な気候の変化など、このような影響の多くは、数量化することが難しい。来世紀にも十分起こりうるような 5~6℃の温暖化の場合には、急激かつ大規模な気候変動を含めた現行のモデルでは、世界の GDP 損失は平均 5~10%であり、貧しい国々では GDP の 10%を超える額の損失が生じると予測される。さらには、いくつかの知見では、これ以上の気温上昇のある危険性が、小さいながらも統計的に有意な確率であることを示している。このような高い気温上昇は、我々人類がいまだかつて経験したことのないところであり、我々の周りの世界に急激な変化を与えうるものである。

そのような可能性を視野に入れるならば、本レビューで用いられたモデル化の枠組みが、リスクの経済学を中心として構築されるべきなのは明らかである。様々な可能性を平均化することにより、リスクは隠蔽されてしまう。予想以上に悪い結果となるリスクは、十分にありえる話であり、その結果は破壊的なものとなる可能性もある。このようなリスクを低減するための政策のひとつが、気候変動に関する政策である。リスクを完全になくすことは不可能だが、十分に軽減することはできる。そのようなモデル化の枠組みは、所得の分配と、いかに将来の世代へ配慮するかについての倫理的な判断を行う必要がある。

分析では、GDP のような狭義の経済便益にのみ焦点を当てるべきではない。気候変動がもたらす健康や環境への影響は、深刻なものであることが予想される。異なった方策を比較検討する場合には、このような影響の評価も不可欠である。繰り返すが、分析には難しい概念的、倫理的、そして計量的な課題が関係しており、分析結果には慎重な取り扱いが求められる。

本レビューでは、気温上昇についての確率の変化に関する最新の科学的知見に基づいて、これらの統合評価モデルから導かれる予測値がどのように変化するかを示すために、PAGE2002 という名前のモデルによる結果を取り上げる。このモデルを用いた理由は、リスクの分析を明示的に行いたいという我々の欲求からである。このモデルは、リスクを分析できる数少ないモデルのひとつである。さらには、このモデルの仮定条件は、これまでの研究にて対象としてきた範囲をカバーするものであるからである。我々は、このモデルに IPCC の 2001 年報告書（第 3 次評価報告書）にて示された気候予測にあわせたデータセットと、気候システムの増幅フィードバックを若干追加したデータセットを用いた。この追加は、2001 年以降に、査読つき論文として発表された、ある分野における気候変動のリスクの増大を例証するものである。

さらに、適切な割引率^{††}、貧しい国々における影響評価に伴う衡平性^{‡‡}の重み付けに関する仮定、および死亡率と自然環境への気候変動の影響の評価を、どのようにモデルへ適用するかについても検討した。

** [訳注] 各国 GDP の世界総和。

†† [訳注] 将来の価値を現在の価値に割り戻す(換算する)率。「割引」することは、現在の価値を将来の価値よりも高く評価することを意味する。

‡‡ [訳注] 様々な考え方があがるが、「関係者間で釣り合いのとれた資源の配分あるいは再配分」と定義できる。

STERN REVIEW: The Economics of Climate Change

Using this model, and including those elements of the analysis that can be incorporated at the moment, we estimate the total cost over the next two centuries of climate change associated under BAU emissions involves impacts and risks that are equivalent to an average reduction in global per-capita consumption of at least 5%, now and forever. While this cost estimate is already strikingly high, it also leaves out much that is important.

The cost of BAU would increase still further, were the model systematically to take account of three important factors:

- First, including direct impacts on the environment and human health (sometimes called 'non-market' impacts) increases our estimate of the total cost of climate change on this path from 5% to 11% of global per-capita consumption. There are difficult analytical and ethical issues of measurement here. The methods used in this model are fairly conservative in the value they assign to these impacts.
- Second, some recent scientific evidence indicates that the climate system may be more responsive to greenhouse-gas emissions than previously thought, for example because of the existence of amplifying feedbacks such as the release of methane and weakening of carbon sinks. Our estimates, based on modelling a limited increase in this responsiveness, indicate that the potential scale of the climate response could increase the cost of climate change on the BAU path from 5% to 7% of global consumption, or from 11% to 14% if the non-market impacts described above are included.
- Third, a disproportionate share of the climate-change burden falls on poor regions of the world. If we weight this unequal burden appropriately, the estimated global cost of climate change at 5-6°C warming could be more than one-quarter higher than without such weights.

Putting these additional factors together would increase the total cost of BAU climate change to the equivalent of around a 20% reduction in consumption per head, now and into the future.

In summary, analyses that take into account the full ranges of both impacts and possible outcomes - that is, that employ the basic economics of risk - suggest that BAU climate change will reduce welfare by an amount equivalent to a reduction in consumption per head of between 5 and 20%. Taking account of the increasing scientific evidence of greater risks, of aversion to the possibilities of catastrophe, and of a broader approach to the consequences than implied by narrow output measures, the appropriate estimate is likely to be in the upper part of this range.

Economic forecasting over just a few years is a difficult and imprecise task. The analysis of climate change requires, by its nature, that we look out over 50, 100, 200 years and more. Any such modelling requires caution and humility, and the results are specific to the model and its assumptions. They should not be endowed with a precision and certainty that is simply impossible to achieve. Further, some of the big uncertainties in the science and the economics concern the areas we know least about (for example, the impacts of very high temperatures), and for good reason - this is unknown territory. The main message from these models is that when we try to take due account of the upside risks and uncertainties, the probability-weighted costs look very large. Much (but not all) of the risk can be reduced through a strong mitigation policy, and we argue that this can be achieved at a far lower cost than

このモデルを使い、現時点で組み込むことのできる上述の分析要素を含めることによって、今後2世紀にわたるBAUでの排出条件下における、気候変動による影響とリスクに関わる総コストは、世界の一人当たり消費額の平均を少なくとも5%減少させる額に相当すると、我々は予測した。この予測値は、既に驚くほど高い値と思われるが、まだまだ重要な事柄を無視している。

BAUでのコストはもっと増大する可能性がある。モデルは以下の3つの重要な要因を考慮に入れるべきである。

- 第一に、BAUの道筋における気候変動の総被害額は、世界の一人あたり消費額の5%と見積もられているが、環境と人間の健康に関する直接的な影響（しばしば「非市場的」影響と呼ばれる）を含めることによって11%へ増加する。この計測には、難しい分析上のまた倫理上の課題がある。このモデルにて、これらの影響コストを直接的に算定する手法は、かなり保守的なものである
- 第二に、最近のいくつかの科学的知見は、気候システムは以前考えられていた以上に温室効果ガスの排出に敏感に反応することを示している。例えば、温度上昇によりメタンの放出が増加したり、炭素吸収量が減少するような、増幅フィードバックの存在などである。我々の予測は、このような反応による増大を限定的に扱っており、被害額は世界の一人当たり消費額の5%と見積もっているが、潜在的な気候の反応を考慮することにより7%へ増加する。また、上述の非市場の影響を考慮に入れるならば11%から14%に増加することを示している
- 第三に、気候変動の負荷は世界の貧しい地域に集中する。この不均衡な負荷を加重付けしてより適切に評価することにより、気温上昇が5~6°Cの場合における、気候変動による被害額の予測値は、重み付けなしの場合よりも25%増加する

このような要因を追加するならば、BAU時の気候変動による総被害額は、現在そして将来にわたって、一人当たり消費を20%削減する額に相当する。

以上より、リスクの経済学を適用し、影響とその結果をすべて考慮して解析すると、BAU時の気候変動は、1人あたり消費額の5~20%に相当するだけの、社会厚生⁸⁸の減少が示唆されるのである。より大きなリスクを示す科学的知見が増えていること、大災害の可能性を回避すること、気候変動の結果に対し狭義の生産高による評価以上の幅広いアプローチを行うことを考慮に入れるならば、温暖化影響による被害額は、この数字の上限に近いものとなる公算が大きい。

経済学的な予測は、数年先のことであっても難しく、不正確さを伴う。気候変動の分析では、その性質から、50年、100年、200年あるいはそれ以上先を見据えることが要求される。そのようなモデリングには慎重さと謙虚さが求められ、その結果はモデルと前提条件により左右される。始めからそれらには正確さや確実性が備わっているわけではなく、また、単純に達成できるものではない。さらに、科学や経済学における大きな不確実性のいくつか（例えば、きわめて高い気温における影響など）は、我々のほとんど知らない領域に存在していて、当然のことだが我々にとって未知の領域である。これらのモデルから得られる主なメッセージは、我々がリスクと不確実性の高い方を考慮に入れると、確率によって重みづけられたコストは非常に大きなものになりうるということである。ほとんどの（すべてではなく）リスクは、強固な緩和政策によって低減させることができる。そして、我々が主張しているのは、緩和策は、気候変動の影響として計算された損失に比べ、はるかに安いコストで達成可能な

⁸⁸ [訳注] 「(生産者の利益+消費者の利益) - 環境汚染の被害」にて表され、政策シナリオの"社会的な望ましき"を示し、政策シナリオを比較する際に評価指標として使うことができる。

those calculated for the impacts. In this sense, mitigation is a highly productive investment.

Emissions have been, and continue to be, driven by economic growth; yet stabilisation of greenhouse-gas concentrations in the atmosphere is feasible and consistent with continued growth.

CO₂ emissions per head have been strongly correlated with GDP per head. As a result, since 1850, North America and Europe have produced around 70% of all the CO₂ emissions due to energy production, while developing countries have accounted for less than one quarter. Most future emissions growth will come from today's developing countries, because of their more rapid population and GDP growth and their increasing share of energy-intensive industries.

Yet despite the historical pattern and the BAU projections, the world does not need to choose between averting climate change and promoting growth and development. Changes in energy technologies and the structure of economies have reduced the responsiveness of emissions to income growth, particularly in some of the richest countries. With strong, deliberate policy choices, it is possible to 'decarbonise' both developed and developing economies on the scale required for climate stabilisation, while maintaining economic growth in both.

Stabilisation - at whatever level - requires that annual emissions be brought down to the level that balances the Earth's natural capacity to remove greenhouse gases from the atmosphere. The longer emissions remain above this level, the higher the final stabilisation level. In the long term, annual global emissions will need to be reduced to below 5 GtCO₂e, the level that the earth can absorb without adding to the concentration of GHGs in the atmosphere. This is more than 80% below the absolute level of current annual emissions.

This Review has focused on the feasibility and costs of stabilisation of greenhouse gas concentrations in the atmosphere in the range of 450-550ppm CO₂e.

Stabilising at or below 550ppm CO₂e would require global emissions to peak in the next 10 - 20 years, and then fall at a rate of at least 1 - 3% per year. The range of paths is illustrated in Figure 3. By 2050, global emissions would need to be around 25% below current levels. These cuts will have to be made in the context of a world economy in 2050 that may be 3 - 4 times larger than today - so emissions per unit of GDP would need to be just one quarter of current levels by 2050.

To stabilise at 450ppm CO₂e, without overshooting, global emissions would need to peak in the next 10 years and then fall at more than 5% per year, reaching 70% below current levels by 2050.

Theoretically it might be possible to "overshoot" by allowing the atmospheric GHG concentration to peak above the stabilisation level and then fall, but this would be both practically very difficult and very unwise. Overshooting paths involve greater risks, as temperatures will also rise rapidly and peak at a higher level for many decades before falling back down. Also, overshooting requires that emissions subsequently be reduced to extremely low levels, below the level of natural carbon absorption, which may not be feasible. Furthermore, if the high temperatures were to weaken the capacity of the Earth to absorb carbon - as becomes more likely with overshooting - future emissions would need to be cut even more rapidly to hit any given stabilisation target for atmospheric concentration.

ことだ。そういう意味で緩和策は、きわめて生産的な投資であると言える。

温室効果ガスの排出は今までも、そして今も経済の成長によって進むが、大気中の温室効果ガス濃度の安定化は実現可能であり、経済成長の継続と矛盾しない

1人あたりのCO₂排出量は、1人あたりGDPと強い相関がある。結果として、1850年以来、北米とヨーロッパが、全てのCO₂排出量の70%をエネルギー生産に伴って排出してきた。一方、発展途上国は全体の4分の1以下を占めているにすぎない。将来の排出の増加分のほとんどは、今日の発展途上国からもたらされる。なぜなら、これらの国々では急速な人口と、GDPの増加、またエネルギー集約型の産業の割合が増加するからである。

しかしながら、この歴史的なパターンとBAUの予測にも関わらず、世界が気候変動の回避と成長や発展の促進との二者択一をする必要はない。エネルギー関連技術と経済構造の変化によって、特に最も豊かな国々の中には、所得が増加してもエネルギー消費がそれほど増加しないようになった。強固かつ意図的な政策の選択がなされるなら、先進国、発展途上国の経済のいずれにおいても、それぞれの経済成長を維持したまま、気候の安定化に必要な規模に「脱炭素化」をすることは可能である。

どんなレベルにせよ温室効果ガス濃度を安定化させるためには、年間の排出量を、温室効果ガスを大気中から取り除く地球の自然の能力とバランスがとれるレベルにまで下げることが必要である。このバランスがとれるレベルよりも排出量が多い状態が長く続けば続くほど、最終的な安定化レベルは高くなる。長期的にみれば、世界の年間排出量はCO₂換算50億トン以下にまで下げることが必要である。これは、地球が大気中の温室効果ガスの濃度を上げることなく吸収できるレベルであり、現在の年間排出量の絶対値の80%以下に相当する。

本レビューでは、大気中の温室効果ガス濃度をCO₂換算にして450~550ppmの幅において、安定化の実現可能性とコストについて焦点をあわせる。

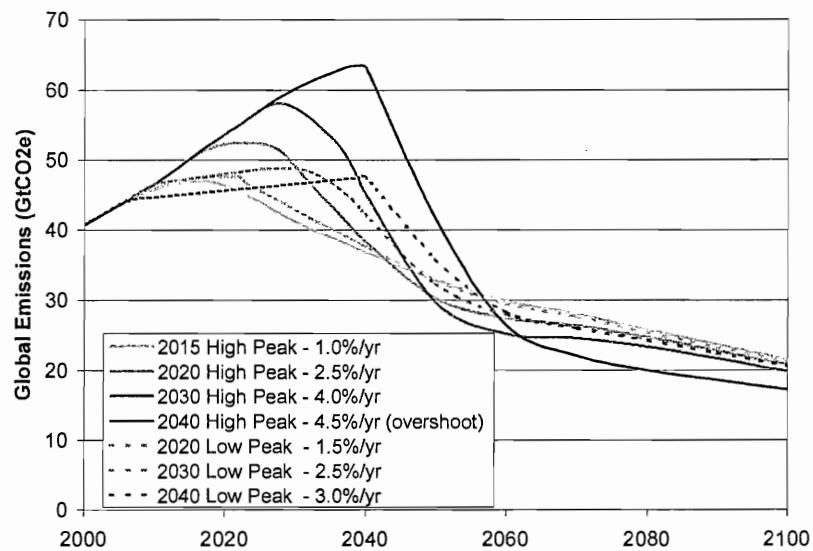
CO₂換算550ppmあるいはそれ以下に安定化させるためには、今後10年から20年の間に排出量のピークが来て、それ以降は少なくとも年率1~3%の割合にて減少することが必要となる。CO₂換算550ppmに安定化させるために十分な、CO₂排出量の経路の範囲を図3に示した。2050年までに、世界の排出量が現在のレベルより25%下がることが必要である。この削減は、2050年の世界経済が現在の3~4倍に拡大するとともに実施されることを考える必要がある。そのため、GDP単位あたりの排出量は2050年までに現在のレベルの4分の1になることが必要である。

行き過ぎる（濃度が上がりすぎる）ことなく、CO₂換算450ppmで安定化させるためには、今後10年間のうちにピークが来て、それ以降は毎年5%以上減少し、2050年までに現在のレベルの70%以下に達することが必要である。

理論的には、大気中の温室効果ガス濃度をいったん安定化レベルより高いところまでピークを持っていき、それから下げるという「行き過ぎる」方法も可能ではあるが、これは現実的に難しく、また、あまり賢明でない方法と言える。行き過ぎる道筋を取った場合には、気温は急激に上昇して、高いレベルでのピークが何十年も続き、その後低下するため、大きなリスクがある。また、行き過ぎでは、排出を自然の炭素吸収能力の許すレベル以下というきわめて低いレベルに一定化する必要がある、これは実現可能性があまりない。さらには、これは行き過ぎにともなって起こり得ることなのだが、もし高い気温が地球の炭素吸収能力を弱めるとしたら、大気中の濃度の安定化目標を達成するために、さらに急速な温暖化ガス排出の削減が必要となるからである。

Figure 3 Illustrative emissions paths to stabilise at 550ppm CO₂e.

The figure below shows six illustrative paths to stabilisation at 550ppm CO₂e. The rates of emissions cuts given in the legend are the *maximum* 10-year average rate of decline of global emissions. The figure shows that delaying emissions cuts (shifting the peak to the right) means that emissions must be reduced more rapidly to achieve the same stabilisation goal. The rate of emissions cuts is also very sensitive to the height of the peak. For example, if emissions peak at 48 GtCO₂ rather than 52 GtCO₂ in 2020, the rate of cuts is reduced from 2.5%/yr to 1.5%/yr.



Source: Reproduced by the Stern Review based on Meinshausen, M. (2006): 'What does a 2°C target mean for greenhouse gas concentrations? A brief analysis based on multi-gas emission pathways and several climate sensitivity uncertainty estimates', *Avoiding dangerous climate change*, in H.J. Schellnhuber et al. (eds.), Cambridge: Cambridge University Press, pp.265 - 280.

Achieving these deep cuts in emissions will have a cost. The Review estimates the annual costs of stabilisation at 500-550ppm CO₂e to be around 1% of GDP by 2050 - a level that is significant but manageable.

Reversing the historical trend in emissions growth, and achieving cuts of 25% or more against today's levels is a major challenge. Costs will be incurred as the world shifts from a high-carbon to a low-carbon trajectory. But there will also be business opportunities as the markets for low-carbon, high-efficiency goods and services expand.

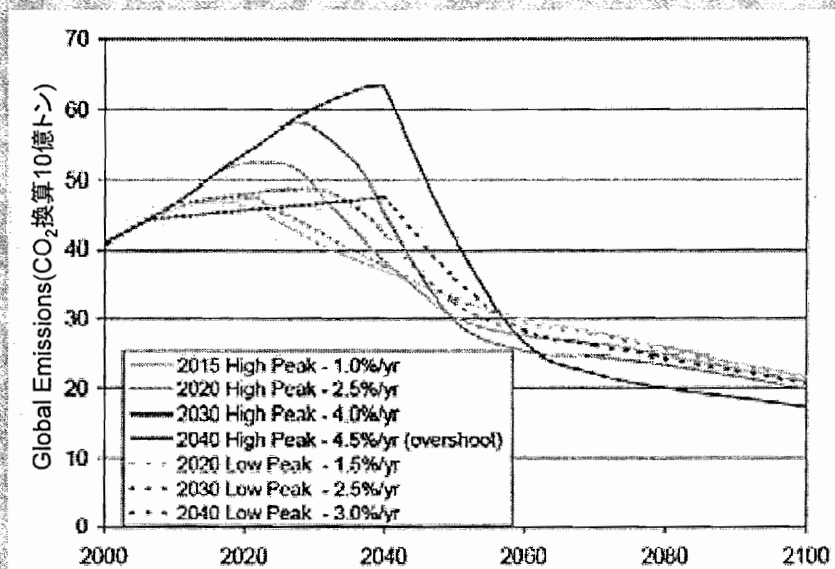
Greenhouse-gas emissions can be cut in four ways. Costs will differ considerably depending on which combination of these methods is used, and in which sector:

- Reducing demand for emissions-intensive goods and services
- Increased efficiency, which can save both money and emissions
- Action on non-energy emissions, such as avoiding deforestation
- Switching to lower-carbon technologies for power, heat and transport

Estimating the costs of these changes can be done in two ways. One is to look at the resource costs of measures, including the introduction of low-carbon technologies and changes in land use, compared with the costs of the BAU alternative. This

図3 CO₂換算550ppmに安定化させる場合の排出量経路図

下図は、CO₂換算550ppmに安定化させるための排出経路を7通り示したものである。凡例に示された排出削減割合は、世界全体の排出削減割合を10年平均したものの最大値を示す。排出削減のタイミングを遅らせる（ピークが右に移動する）と、同じ安定化目標であっても、より迅速に排出削減を実施しなくてはならないことを示している。また、排出削減速度は、排出量のピーク値に大きく影響される。例えば、2020年のピーク値がCO₂換算520億トンではなく480億トンに低減できると、削減速度は年率2.5%から1.5%に減少する。



出典：Meinshausen, M. (2006)をもとにして、本レビュー用に作成。

Meinshausen, M. (2006) 'What does a 2° C target mean for greenhouse gas concentrations? A brief analysis based on multi-gas emission pathways and several climate sensitivity uncertainty estimates', Avoiding dangerous climate change, in H.J. Schellnhuber et al. (eds.), Cambridge: Cambridge University Press, pp.265-280.

排出量を大幅に削減するためには、コストがかかる。本レビューでは、CO₂換算 500～550 ppmでの安定化に伴う年間コストを、2050年まで、GDPのおよそ1%と予測している。これはきわめて高額であるものの、実現可能な水準である

これまで続いてきた排出量増加の流れを反転させ、現在水準と比較して25%以上の削減を達成することは、きわめて大きな挑戦である。高炭素世界から低炭素世界にシフトするには、コストを負担することになるであろう。しかし、世界構造のシフトに伴って、低炭素、高性能な機器やサービスを扱う市場の拡大など、ビジネスの好機もあろう。

温室効果ガス排出量を削減するためには、4つの方策がある。削減コストは、手法の組み合わせと、対象とする部門の選択如何によって、大きく変化する。

- 温室効果ガス排出量の大きな機器や、サービスの需要を抑制する
- エネルギー効率を高め、エネルギーコスト抑制と排出量削減の両立を目指す
- 森林減少の防止など非エネルギー起源の排出対策の推進
- 電力部門、熱供給部門、交通部門における低炭素技術への転換

上述のような方策実施に伴うコストは、2種類の手法を用いて予測することが可能である。ひとつは、低炭素技術の導入と土地利用の変化を含む、それぞれの方法における資源コストを、BAU選択時のコストと比較して考察する方法である。この方法によってコストの上限値を得られる。

provides an upper bound on costs, as it does not take account of opportunities to respond involving reductions in demand for high-carbon goods and services.

The second is to use macroeconomic models to explore the system-wide effects of the transition to a low-carbon energy economy. These can be useful in tracking the dynamic interactions of different factors over time, including the response of economies to changes in prices. But they can be complex, with their results affected by a whole range of assumptions.

On the basis of these two methods, central estimate is that stabilisation of greenhouse gases at levels of 500-550ppm CO₂e will cost, on average, around 1% of annual global GDP by 2050. This is significant, but is fully consistent with continued growth and development, in contrast with unabated climate change, which will eventually pose significant threats to growth.

Resource cost estimates suggest that an upper bound for the expected annual cost of emissions reductions consistent with a trajectory leading to stabilisation at 550ppm CO₂e is likely to be around 1% of GDP by 2050.

This Review has considered in detail the potential for, and costs of, technologies and measures to cut emissions across different sectors. As with the impacts of climate change, this is subject to important uncertainties. These include the difficulties of estimating the costs of technologies several decades into the future, as well as the way in which fossil-fuel prices evolve in the future. It is also hard to know how people will respond to price changes.

The precise evolution of the mitigation effort, and the composition across sectors of emissions reductions, will therefore depend on all these factors. But it is possible to make a central projection of costs across a portfolio of likely options, subject to a range.

The technical potential for efficiency improvements to reduce emissions and costs is substantial. Over the past century, efficiency in energy supply improved ten-fold or more in developed countries, and the possibilities for further gains are far from being exhausted. Studies by the International Energy Agency show that, by 2050, energy efficiency has the potential to be the biggest single source of emissions savings in the energy sector. This would have both environmental and economic benefits: energy-efficiency measures cut waste and often save money.

Non-energy emissions make up one-third of total greenhouse-gas emissions; action here will make an important contribution. A substantial body of evidence suggests that action to prevent further deforestation would be relatively cheap compared with other types of mitigation, if the right policies and institutional structures are put in place.

Large-scale uptake of a range of clean power, heat, and transport technologies is required for radical emission cuts in the medium to long term. The power sector around the world will have to be least 60%, and perhaps as much as 75%, decarbonised by 2050 to stabilise at or below 550ppm CO₂e. Deep cuts in the transport sector are likely to be more difficult in the shorter term, but will ultimately be needed. While many of the technologies to achieve this already exist, the priority is to bring down their costs so that they are competitive with fossil-fuel alternatives under a carbon-pricing policy regime.

なぜならば、この方法では高炭素機器や高炭素サービスの需要を下げるなどによって起こる新しいビジネスの好機については配慮しないからである。

二つ目は、低炭素エネルギー経済への転換による効果を、経済システム全体で見るために、マクロ経済モデルを使う方法である。これは、価格の変化に対する経済の反応など、異なった要因の長期間に及ぶ動的な相互作用を追うには有効な方法である。しかし、この方法は大変複雑で、一連の仮定の範囲によって結果が左右されるということがある。

この二つの方法に基づいた代表的な予測によると、温室効果ガスを CO₂ 換算 500~550 ppm に安定化させるためには、2050 年までに平均しておよそ年間 GDP の 1%のコストが必要とされている。これは、かなり高い値ではある。しかし、最終的には成長に対して非常に大きな脅威となる衰えない気候変動とは対照的に、成長と発展の継続と矛盾しないものである。

資源コストの予測値は、CO₂ 換算 550 ppm での安定化に向かう排出削減にかかる 2050 年までの年間のコストの上限値が、GDP の 1%であろうということを示唆している

本レビューでは、異なる部門を通じて排出削減のための技術と方策の可能性とそのコストが、詳細に検討された。その可能性とコストは、気候変動の影響とともに、重大な不確実性に左右される。この不確実性には、この先数十年にわたる技術のコストを予測することの困難さと、化石燃料の価格の将来的な展開の道筋を含む。また、化石燃料の価格の変化に対し、人々がどのように反応するかも、また知ることは難しい。

排出削減の努力を的確に展開することと、排出削減の部門を超えた取り組みは、これらの要因に依存している。しかし、ある範囲に対して、起こりうるオプションのポートフォリオ^{***}間のコストの代表的な予測を行うことは可能である。

技術による排出量削減とコスト低減のための効率性のポテンシャルは非常に大きい。過去 1 世紀では、エネルギー供給の効率は、先進国では 10 倍あるいはそれ以上に改善され、さらなる改善の可能性は、改善策が出尽くす可能性よりもはるかに大きい。国際エネルギー機関の研究によると、2050 年までは、エネルギー効率の改善が、エネルギー部門における排出削減の最も大きい単独の要因として可能性があるとしてされている。このエネルギー効率の改善は環境と経済の両方に便益をもたらす。エネルギー効率を改善させると、無駄が省けるのみならず、しばしば費用の節約になるからである。

温室効果ガスの全排出量の 3 分の 1 は、非エネルギーによるものである。それゆえ、ここでの対策は大きな効果がある。知見のかなりの部分が、もし適切な政策と制度的な仕組みが整備されるならば、これ以上の森林減少を抑制するという対策は、他の緩和策に比べて比較的安価に行えることを示唆している。

クリーンな電力、暖房、交通の技術の大規模に取り入れることが、中長期にわたる大幅な排出削減を行う上で必要である。CO₂ 換算 550 ppm あるいはそれ以下で安定化させるためには、世界中の電力部門が、2050 年までに少なくとも 60%、あるいは 75%の脱炭素化（排出量削減）を図る必要がある。運輸部門における大幅な削減は、短期的には難しいかもしれないが、長期的には必要である。これらの削減を達成するような多くの技術は既に存在しているが、まずやらなくてはならないのは、これらの技術のコストを下げ、それが炭素の価格付け政策の下で、化石燃料の代替として競争力のあるものにするということである。

^{***} [訳注] もとは金融用語で、機関投資家の資産運用に際し、最も有利な分散投資を選択すること。ここでは、安全性や費用対効果などを考慮した、より良い対策技術の組み合わせを意味する。

A portfolio of technologies will be required to stabilise emissions. It is highly unlikely that any single technology will deliver all the necessary emission savings, because all technologies are subject to constraints of some kind, and because of the wide range of activities and sectors that generate greenhouse-gas emissions. It is also uncertain which technologies will turn out to be cheapest. Hence a portfolio will be required for low-cost abatement.

The shift to a low-carbon global economy will take place against the background of an abundant supply of fossil fuels. That is to say, the stocks of hydrocarbons that are profitable to extract (under current policies) are more than enough to take the world to levels of greenhouse-gas concentrations well beyond 750ppm CO₂e, with very dangerous consequences. Indeed, under BAU, energy users are likely to switch towards more carbon-intensive coal and oil shales, increasing rates of emissions growth.

Even with very strong expansion of the use of renewable energy and other low-carbon energy sources, hydrocarbons may still make over half of global energy supply in 2050. Extensive carbon capture and storage would allow this continued use of fossil fuels without damage to the atmosphere, and also guard against the danger of strong climate-change policy being undermined at some stage by falls in fossil-fuel prices.

Estimates based on the likely costs of these methods of emissions reduction show that the annual costs of stabilising at around 550ppm CO₂e are likely to be around 1% of global GDP by 2050, with a range from -1% (net gains) to +3.5% of GDP.

Looking at broader macroeconomic models confirms these estimates.

The second approach adopted by the Review was based comparisons of a broad range of macro-economic model estimates (such as that presented in Figure 4 below). This comparison found that the costs for stabilisation at 500-550ppm CO₂e were centred on 1% of GDP by 2050, with a range of -2% to +5% of GDP. The range reflects a number of factors, including the pace of technological innovation and the efficiency with which policy is applied across the globe: the faster the innovation and the greater the efficiency, the lower the cost. These factors can be influenced by policy.

The average expected cost is likely to remain around 1% of GDP from mid-century, but the range of estimates around the 1% diverges strongly thereafter, with some falling and others rising sharply by 2100, reflecting the greater uncertainty about the costs of seeking out ever more innovative methods of mitigation.

排出を安定化させるためには技術のポートフォリオが必要である。いかなる技術でも、単独では必要な排出抑制を達成することは出来ない。なぜならば、全ての技術は何かしらの制約を持つが、温室効果ガスは様々な種類の活動や部門から排出されるからである。また、どの技術が結果的に最も安価となるかもわからない。したがって、低コストで排出削減を実施するためには、技術のポートフォリオが必要となる。

世界的な低炭素経済への転換は、化石燃料の十分な供給がある状況とは反対の場面で起こる。つまり、現在の政策の下で収益性のある炭化水素の貯蔵量は、世界の温室効果ガス濃度をCO₂換算 750 ppm を超えるのに十分な量であり、これは、極めて危険な結果を生み出す水準である。実際、BAU においては、排出量の増加により、炭素集約度の高い石炭やオイルシェールに移行することが予想されている。

たとえ再生可能エネルギーや他の低炭素型のエネルギー源の使用の拡大が優勢になったとしても、2050年の時点では、炭化水素は世界のエネルギー供給の半分以上を支え続けるであろう。炭素隔離貯留技術の拡大は、大気へ被害を与えることなく化石燃料の使用の継続を可能にするものである。またこの技術は、化石燃料価格の下落によって弱体化する気候変動政策の危機から守ってくれる。

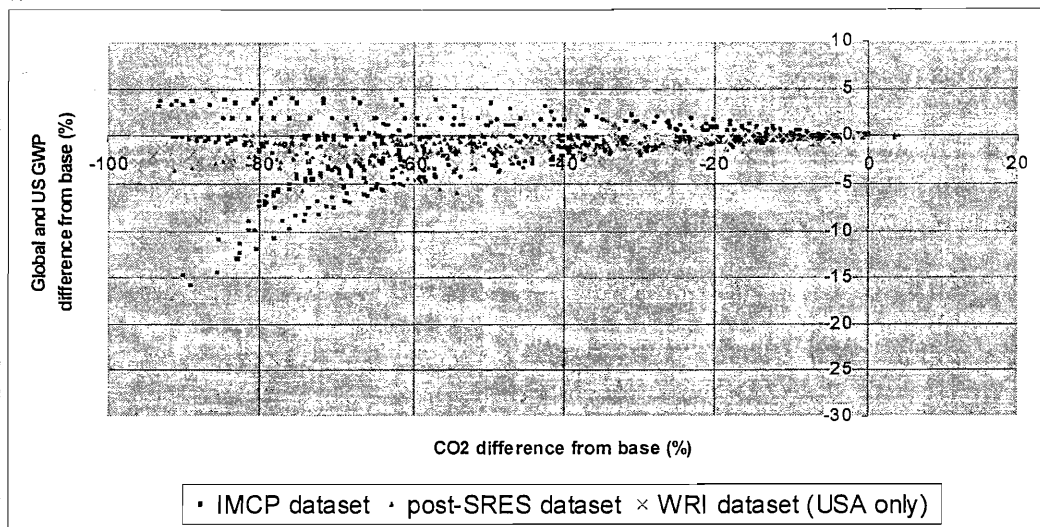
それぞれの予測される排出削減技術のコストを元にした計算によると、CO₂換算 550 ppm に安定させるために2050年までに必要となる年間のコストは、世界のGDPのおよそ1%であり、GDPの-1%（純益）から+3.5%までの幅があると予測される。

より一般的なマクロ経済モデルも、上述の予測を支持している

本レビューでコストの予測のために採用された第二の方法は、下記の図4に示したような、様々な一般的なマクロ経済モデルによる予測の比較を元にするものである。この比較によって、CO₂換算 500~550 ppmでの安定化させるためのコストは、2050年までの世界のGDPの1%を中心として、-2%から+5%までの幅になることがわかった。この数字の幅は、技術革新のスピードや世界中で実行される施策の効率性など、多くの要因を反映している。技術革新が早ければ早いほど、効率性が高ければ高いほど、コストは低くなる。これらの要素は政策に左右される。

予測されるコストの平均値は、今世紀中ごろまではGDPの1%あたりにとどまる。それ以降は、予測値のばらつきは大きくなっていき、下がるものもあれば、2100年までに大きく増加するものもある。このばらつきは、より革新的な緩和策を見つけるためのコストに関する不確実性の大きさに起因するものである。

Figure 4 Model cost projections scatter plot
Costs of CO₂ reductions as a fraction of world GDP against level of reduction



Source: Barker, T., M.S. Qureshi and J. Köhler (2006): 'The costs of greenhouse-gas mitigation with induced technological change: A Meta-Analysis of estimates in the literature', 4CMR, Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research, Cambridge: University of Cambridge.

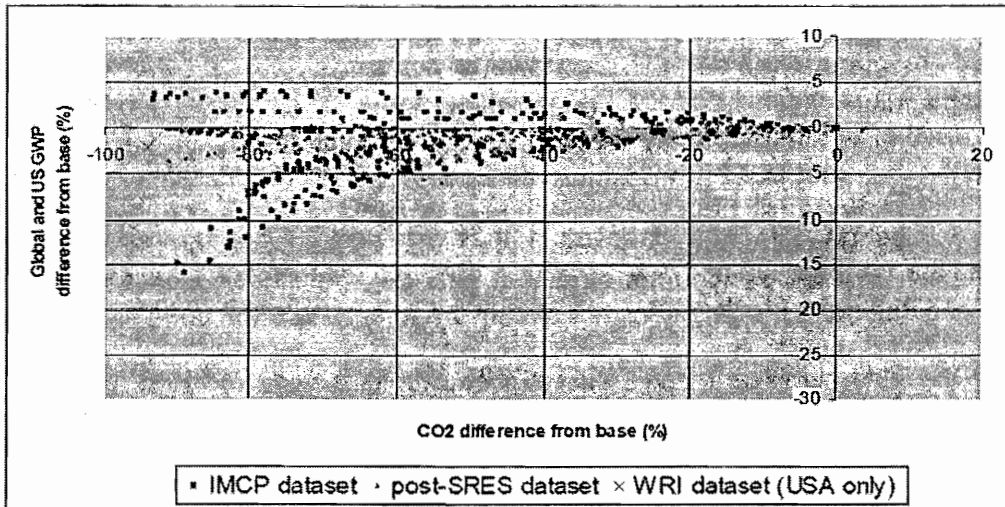
A broad range of modelling studies, which include exercises undertaken by the IMCP, EMF and USCCSP as well as work commissioned by the IPCC, show that costs for 2050 consistent with an emissions trajectory leading to stabilisation at around 500-550ppm CO₂e are clustered in the range of -2% to 5% of GDP, with an average around 1% of GDP. The range reflects uncertainties over the scale of mitigation required, the pace of technological innovation and the degree of policy flexibility.

The figure above uses Barker's combined three-model dataset to show the reduction in annual CO₂ emissions from the baseline and the associated changes in world GDP. The wide range of model results reflects the design of the models and the choice of assumptions included within them, which itself reflects uncertainties and differing approaches inherent in projecting the future. This shows that the full range of estimates drawn from a variety of stabilisation paths and years extends from -4% of GDP (that is, net gains) to +15% of GDP costs, but this mainly reflects outlying studies; most estimates are still centred around 1% of GDP. In particular, the models arriving at higher cost estimates make assumptions about technological progress that are very pessimistic by historical standards.

Stabilisation at 450ppm CO₂e is already almost out of reach, given that we are likely to reach this level within ten years and that there are real difficulties of making the sharp reductions required with current and foreseeable technologies. Costs rise significantly as mitigation efforts become more ambitious or sudden. Efforts to reduce emissions rapidly are likely to be very costly.

An important corollary is that there is a high price to delay. Delay in taking action on climate change would make it necessary to accept both more climate change and, eventually, higher mitigation costs. Weak action in the next 10-20 years would put stabilisation even at 550ppm CO₂e beyond reach – and this level is already associated with significant risks.

図4 各種モデルによる対策費用予測値のプロット図
CO₂削減率と世界GDPに占める削減費用の割合の比較



出典: Barker, T., M.S. Qureshi and J. Köhler (2006): 'The costs of greenhouse-gas mitigation with induced technological change: A Meta-Analysis of estimates in the literature', 4CMR, Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research, Cambridge: University of Cambridge.

IPCCより委託された研究に加え、IMCP、EMF、USCCSPによるモデル比較研究から得られた分析結果によると、CO₂換算500～550ppmに安定化するためには、2050年における必要な対策コストはGDP比-2%～5%の範囲にあり、平均では1%になることがわかった。幅があるのは、対策の必要度合い、技術革新のスピード、政策の柔軟性等において不確実性があるためである。

上図は、Barker博士によって示された3つのモデルデータセットを組み合わせたものであり、ベースラインからの年間排出量の変化とそれに伴うGDPの変化を示したものである。モデルから得られた結果の幅は、モデル構造と仮定条件の違いを表しており、不確実性と未来の推測に用いたアプローチの違いが反映されている。さまざまな安定化経路と目標年があるものの、全体的に見るとGDPの変化は、-4%(すなわち、純便益をもたらす)～+15%の範囲に見積もられている。解析結果の多くが、GDP変化率1%付近に集中している。費用を高額に見積もっているモデルには、技術進歩を悲観的に想定しているという特徴がある。

CO₂換算値 450 ppm での安定化は、既に手の届かないものになっている。というのは、今後10年以内にこのレベルに達する公算が高く、現在のそして今見通しの立つ技術を用いたとしても、急激な削減はきわめて難しいからである。緩和策をより大規模かつ早急に実施する努力が必要になるが、コストは大きく増大してしまう。排出量を急激に下げる努力は、きわめて高くつく。

重要な帰結の一つは、対応の遅れは高くつくということである。気候変動対策への対応の遅れは、より多くの気候変動と、結果的にはより高額な緩和策へのコストの両方を受け入れることが必須である。今後10年から20年間に実施される対策が弱いものであるなら、CO₂換算550 ppmの安定化ですら、手の届かないものになってしまう、しかもこのレベルでさえ深刻なリスクがあるかもしれない。

The transition to a low-carbon economy will bring challenges for competitiveness but also opportunities for growth.

Costs of mitigation of around 1% of GDP are small relative to the costs and risks of climate change that will be avoided. However, for some countries and some sectors, the costs will be higher. There may be some impacts on the competitiveness of a small number of internationally traded products and processes. These should not be overestimated, and can be reduced or eliminated if countries or sectors act together; nevertheless, there will be a transition to be managed. For the economy as a whole, there will be benefits from innovation that will offset some of these costs. All economies undergo continuous structural change; the most successful economies are those that have the flexibility and dynamism to embrace the change.

There are also significant new opportunities across a wide range of industries and services. Markets for low-carbon energy products are likely to be worth at least \$500bn per year by 2050, and perhaps much more. Individual companies and countries should position themselves to take advantage of these opportunities.

Climate-change policy can help to root out existing inefficiencies. At the company level, implementing climate policies may draw attention to money-saving opportunities. At the economy-wide level, climate-change policy may be a lever for reforming inefficient energy systems and removing distorting energy subsidies, on which governments around the world currently spend around \$250bn a year.

Policies on climate change can also help to achieve other objectives. These co-benefits can significantly reduce the overall cost to the economy of reducing greenhouse-gas emissions. If climate policy is designed well, it can, for example, contribute to reducing ill-health and mortality from air pollution, and to preserving forests that contain a significant proportion of the world's biodiversity.

National objectives for energy security can also be pursued alongside climate change objectives. Energy efficiency and diversification of energy sources and supplies support energy security, as do clear long-term policy frameworks for investors in power generation. Carbon capture and storage is essential to maintain the role of coal in providing secure and reliable energy for many economies.

Reducing the expected adverse impacts of climate change is therefore both highly desirable and feasible.

This conclusion follows from a comparison of the above estimates of the costs of mitigation with the high costs of inaction described from our first two methods (the aggregated and the disaggregated) of assessing the risks and costs of climate change impacts.

The third approach to analysing the costs and benefits of action on climate change adopted by this Review compares the marginal costs of abatement with the social cost of carbon. This approach compares estimates of the changes in the expected benefits and costs over time from a little extra reduction in emissions, and avoids large-scale formal economic models.

Preliminary calculations adopting the approach to valuation taken in this Review suggest that the social cost of carbon today, if we remain on a BAU trajectory, is of the order of \$85 per tonne of CO₂ - higher than typical numbers in the literature, largely because we treat risk explicitly and incorporate recent evidence on the risks,

低炭素経済への転換は競争力という点からは大きな挑戦であるが、一方、経済成長への好機でもある

緩和策に要するコストは、GDPの1%であるが、それによって避けうる気候変動に伴う被害額とリスクに比べると小さいものである。しかしながら、いくつかの国やセクターにとっては、コストはより高額となる。国際的に取引される製品や国際取引行為において、その競争力になんらかの影響が出ることも中にはあるかもしれない。この影響は過大評価されるべきものではなく、また関係各国やセクターが協調行動をとることによって影響を低減あるいは解消することができる。いずれにせよ、低炭素経済への転換は可能である。経済全体としてみれば、これらのコストを相殺できるような、技術革新による便益がある。すべての経済は常に構造の変化にさらされており、最もうまくいっている経済というのは、そのような変化を受け入れるだけの柔軟性とダイナミズム^{***}を持つものである。

また、様々な産業、サービスにわたって、かなりの新ビジネスの好機がある。低炭素エネルギー製品の市場は2050年までに、少なくとも5千億ドルあるいはそれ以上に上ることが見込める。それぞれの会社や国は、このビジネスの好機を生かすように自らを位置づけるべきである。

気候変動への対策は、現存する非効率性を根絶する一助となる可能性がある。企業レベルでは、気候対策の導入は、経費を節約するチャンスに目を向ける機会になるかもしれない。経済全体のレベルでは、気候変動対策は、非効率的なエネルギーシステムを改善するよい機会である。また、世界全体では現在年間2千5百億ドルがエネルギーへの補助金として支出されているが、このような偏った政府補助金を修正する機会になるかもしれない。

気候変動対策は、それ以外の目的を達することへの助けになり得る。そのような副次的便益は、温室効果ガス排出削減に伴う全体的な経済的コストを大きく下げる可能性がある。もし気候対策がよく練られたものであるなら、例えば大気汚染による健康被害や死亡が減ったり、世界の生物多様性の大きな割合を占めている森林が保全されたりすることに貢献する。

エネルギー安全保障のための国家目標は、気候変動に関する目標と同時に達成でき得る。エネルギー効率の向上とエネルギー源および供給の分散化は、エネルギー安全保障に役立ち、発電設備に投資する人に対して長期的な政策枠組みを明らかにすることにも役立つ。炭素隔離貯留技術は、安全で信頼性の高いエネルギーである石炭を、多くの経済活動に供給するためにはきわめて重要である。

予期される気候変動の悪影響の低減は、きわめて価値があり、しかも実現可能である

この結論は、上述の緩和策にかかるコストの推定額と、最初に説明した何も対策をとらなかった場合の、気候変動のリスクとコストを推計する統合的手法と非統合的手法という二つの方法による、きわめて高いコストの推定額との比較から導かれるものである。

本レビューで採用された、気候変動への対策費用と便益を分析するための第三の方法は、炭素削減にかかる限界費用と炭素の社会的費用を比較するものである。この方法は、追加的な1単位の排出削減時の長期的な費用と便益の期待値の変化の見積もりを比較するもので、大規模な経済モデルを使わないものである。

本レビューで、この方法を採用するにあたり、予備的に行われた計算によると、炭素の今日の社会的費用は、もし我々がBAUの軌道をたどりつづけると仮定すると、CO₂1トンあたり、ほぼ85ドル程度になると推定される。これは文献等で一般に言われているよりも高い価格になるが、その理由の大きなものとしては、我々がリスクをきちんと取り扱い、リスクに関する最新の知見を取り込んだことがあげられる。しかし、この価格帯は、今まで発表された予測価格帯の範囲にはいるものである。そして、この数字は、多くの部門で、限界削減費用に

^{***} [訳注] あらゆる現象を要素間の力関係でもって説明しようとする考え方。経済では、様々な主体（企業、政府、個人）が有機的に連携し、共同して利益を追求すること。

but nevertheless well within the range of published estimates. This number is well above marginal abatement costs in many sectors. Comparing the social costs of carbon on a BAU trajectory and on a path towards stabilisation at 550ppm CO₂e, we estimate the excess of benefits over costs, in net present value terms, from implementing strong mitigation policies this year, shifting the world onto the better path: the net benefits would be of the order of \$2.5 trillion. This figure will increase over time. This is not an estimate of net benefits occurring in this year, but a measure of the benefits that could flow from actions taken this year; many of the costs and benefits would be in the medium to long term.

Even if we have sensible policies in place, the social cost of carbon will also rise steadily over time, making more and more technological options for mitigation cost-effective. This does not mean that consumers will always face rising prices for the goods and services that they currently enjoy, as innovation driven by strong policy will ultimately reduce the carbon intensity of our economies, and consumers will then see reductions in the prices that they pay as low-carbon technologies mature.

The three approaches to the analysis of the costs of climate change used in the Review all point to the desirability of strong action, given estimates of the costs of action on mitigation. But how much action? The Review goes on to examine the economics of this question.

The current evidence suggests aiming for stabilisation somewhere within the range 450 - 550ppm CO₂e. Anything higher would substantially increase the risks of very harmful impacts while reducing the expected costs of mitigation by comparatively little. Aiming for the lower end of this range would mean that the costs of mitigation would be likely to rise rapidly. Anything lower would certainly impose very high adjustment costs in the near term for small gains and might not even be feasible, not least because of past delays in taking strong action.

Uncertainty is an argument for a more, not less, demanding goal, because of the size of the adverse climate-change impacts in the worst-case scenarios.

The ultimate concentration of greenhouse gases determines the trajectory for estimates of the social cost of carbon; these also reflect the particular ethical judgements and approach to the treatment of uncertainty embodied in the modelling. Preliminary work for this Review suggests that, if the target were between 450-550ppm CO₂e, then the social cost of carbon would start in the region of \$25-30 per tonne of CO₂ – around one third of the level if the world stays with BAU.

The social cost of carbon is likely to increase steadily over time because marginal damages increase with the stock of GHGs in the atmosphere, and that stock rises over time. Policy should therefore ensure that abatement efforts at the margin also intensify over time. But it should also foster the development of technology that can drive down the average costs of abatement; although pricing carbon, by itself, will not be sufficient to bring forth all the necessary innovation, particularly in the early years.

The first half of the Review therefore demonstrates that strong action on climate change, including both mitigation and adaptation, is worthwhile, and suggests appropriate goals for climate-change policy.

The second half of the Review examines the appropriate form of such policy, and how it can be placed within a framework of international collective action.

リスクに関する最新の知見を取り込んだことがあげられる。しかし、この価格帯は、今まで発表された予測価格帯の範囲にはいるものである。そしてこの数字は、多くの部門で限界削減費用をはるかに上回るものである。BAUの道筋とCO₂換算550ppmでの安定化に向かう道筋との、両方の道筋における炭素の社会的費用を現在価値にて比較すると、強固な緩和策を今年中に実施し、世界をよりよい道筋に移行させることによって、便益がコストを上回ると予測され、その純便益は約2兆5千億ドル程度にのぼる。この数字は、時間が経つにつれて今後増加する可能性がある。この数字は、今年単年で発生する純便益ではなく、今年中にとられる対策から得られるであろう便益の評価額である。対策費用、便益とも中・長期にわたって生じるものである。

たとえ、我々が賢明な対策をとったとしても、長期的には炭素の社会的費用は徐々に上がり続ける。したがって、緩和策に関する技術の選択肢をより多く増やすことが、費用対効果を持つことになる。このことは、決して、一般消費者が、現在享受している商品やサービスの絶え間ない価格の上昇に直面しなければならないということではない。強力な政策によるイノベーションによって、結果的には我々の社会の炭素排出原単位を下げ、低炭素技術が成熟するにつれて、消費者は彼らが支払う費用を低減できることになるからである。

気候変動に関する対策費用の分析のために、本レビューで使われた3つの手法のいずれもが、緩和策にかかる費用の予測から見て、強固な行動をとることが望ましいということを示している。しかし、どの程度の対策が必要なのか、本レビューは、この問題について経済学的な考察を続けるものである。

現在、我々の持っている知見は、CO₂換算450~550ppmの範囲のどこかで、安定化を目指すべきことを示唆している。これより高い値では、緩和策に必要な費用を下げることはできるが、きわめて危険な影響の起こるリスクが実質的に増大する。また、この範囲の下限値を目指すとなると、緩和策にかかる費用が急激に増大すると予測される。下限値以下では、短期間で適応策にかかる費用が極めて大きくなり、その見返りも少ない。さらに言うと、すでに強固な対策をとることについて遅れをとっているために、その達成は実現可能ではないかもしれない。

最悪のケースを想定したシナリオの中で描かれる、気候変動の悪影響の大きさに鑑みると、不確実性は、より厳しい要求をする目標の設定についての議論となる。

最終的に達成すべき温室効果ガスの濃度が、炭素の社会的費用の見積もりの道筋を決定づける。予測の道筋は、ある種の倫理的判断やモデルに内在する不確実性をどのように扱うかにも反映する。本レビューに先立つ予備的な研究では、もし達成目標がCO₂換算450~550ppmに設定されるならば、炭素の社会的費用はCO₂1トンあたり25~30ドルの範囲の値から始まると予測される。この値は、もし世界がBAUの道筋にとどまると仮定した場合の約3分の1である。

大気中の温室効果ガスの蓄積量が増えるにつれ、限界損失^{***}が増えることになる。また、蓄積量そのものも時間が経つにつれて増加する。その結果、炭素の社会的費用は徐々に上がり続ける。したがって、対策も、限界点での軽減の努力が時間とともに強化されるようにしなければならない。しかし、特に初期段階においては、必要となるイノベーションのすべてに結びつくような十分な炭素価格ではないにしても、その対策は、温室効果ガス削減の平均費用を下げようとするような技術開発を促進するものでなければならない。

本レビューの前半では、緩和策と適応策の両者を含む、気候変動に対する強固な対策は、実施する値打ちがあるものであるということを明らかにし、また、気候変動対策における適切な目標についての提言を行った。

本レビューの後半では、そのような気候変動対策がどのような形式をとるのか、また、国際的な共同作業の枠組みの中で、その対策がどのように位置づけられるかを検討する。

^{***} [訳注] ある財（ここでは温室効果ガス）を1単位だけ増加させることに伴う総費用の減少(損失)分。

Policy to reduce emissions should be based on three essential elements: carbon pricing, technology policy, and removal of barriers to behavioural change.

There are complex challenges in reducing greenhouse-gas emissions. Policy frameworks must deal with long time horizons and with interactions with a range of other market imperfections and dynamics.

A shared understanding of the long-term goals for stabilisation is a crucial guide to policy-making on climate change: it narrows down strongly the range of acceptable emissions paths. But from year to year, flexibility in what, where and when reductions are made will reduce the costs of meeting these stabilisation goals.

Policies should adapt to changing circumstances as the costs and benefits of responding to climate change become clearer over time. They should also build on diverse national conditions and approaches to policy-making. But the strong links between current actions and the long-term goal should be at the forefront of policy.

Three elements of policy for mitigation are essential: a carbon price, technology policy, and the removal of barriers to behavioural change. Leaving out any one of these elements will significantly increase the costs of action.

Establishing a carbon price, through tax, trading or regulation, is an essential foundation for climate-change policy.

The first element of policy is carbon pricing. Greenhouse gases are, in economic terms, an externality: those who produce greenhouse-gas emissions are bringing about climate change, thereby imposing costs on the world and on future generations, but they do not face the full consequences of their actions themselves.

Putting an appropriate price on carbon – explicitly through tax or trading, or implicitly through regulation – means that people are faced with the full social cost of their actions. This will lead individuals and businesses to switch away from high-carbon goods and services, and to invest in low-carbon alternatives. Economic efficiency points to the advantages of a common global carbon price: emissions reductions will then take place wherever they are cheapest.

The choice of policy tool will depend on countries' national circumstances, on the characteristics of particular sectors, and on the interaction between climate-change policy and other policies. Policies also have important differences in their consequences for the distribution of costs across individuals, and their impact on the public finances. Taxation has the advantage of delivering a steady flow of revenue, while, in the case of trading, increasing the use of auctioning is likely to have strong benefits for efficiency, for distribution and for the public finances. Some administrations may choose to focus on trading initiatives, others on taxation or regulation, and others on a mix of policies. And their choices may vary across sectors.

Trading schemes can be an effective way to equalise carbon prices across countries and sectors, and the EU Emissions Trading Scheme is now the centrepiece of European efforts to cut emissions. To reap the benefits of emissions trading, schemes must provide incentives for a flexible and efficient response. Broadening the scope of trading schemes will tend to lower costs and reduce volatility. Clarity and predictability about the future rules and shape of schemes will help to build confidence in a future carbon price.

排出削減政策には、炭素価格、技術政策、行動変化に係る障壁の除去の 3 要素が必須である

温室効果ガス排出量を削減するためには、多くの複雑な課題を解決する必要がある。政策的枠組みを検討する上では、長期的展望と、市場の不完全性やダイナミクスを考慮に入れることが必要である。

長期的な安定化目標に関する共通理解をはぐくむことが、気候変動に対する政策を決定する上ではきわめて重要である。認識を共有することによって、取るべき排出量削減経路の選択肢を限定することが可能となる。しかし、排出削減コストを抑制するためには、いつでもどこどの程度排出量を削減するかを柔軟に検討できるような政策が望ましい。

気候変動によって生じる被害額と対策実施による便益は、時とともに明らかになっていく。そのため、政策もそれにあわせて変化させていく必要がある。また、政策立案にあたっては、国情の違いや、政策の立案・実施プロセスの差異を考慮しなくてはならない。しかし、政策の策定に当たっては、なによりも現在の行動と長期的な目標との強固な連結が中心となっていることが必要である。

緩和のための政策には、炭素価格、技術政策、行動変化に係る障壁の除去、の 3 要素が必須である。このうちどれかが欠けてしまうと、対策費用は大幅に増大してしまう。

炭素価格は、炭素税、排出量取引、排出量規制を通じて設定され、気候変動政策の基盤であるといえる

政策の第一の要素は、炭素価格である。経済学的に見ると、温室効果ガス排出主体は、環境に対して外部性をもたらしているといえる。つまり、排出主体は気候変動を引き起こし、世界と将来の世代に対して対策費用を押しつけているにもかかわらず、自分自身の行動に伴う結果に直面していない。

炭素価格を適切に設定することにより、炭素税や排出量取引のような直接的な形のみならず、排出量規制のような間接的な形を通じて、人々が自らの行動によって生じる社会的費用を負担することになる。また、価格が設定されることによって、個人や企業では、商品やサービスに対する投資を炭素集約的なものから低炭素型のものへと転換するようになる。世界全体にて炭素価格を共通化することができると、もっとも対策費用の低い地域・部門にて排出削減が実施されるようになり、経済効率を向上させることが可能となる。

具体的な政策手段は、国情、対象部門の特徴、気候変動政策と他の政策との間の相互関係を考慮して選択しなければならない。どの政策手段を採用するかによって、個人ごとの対策費用負担や国家財政への影響は大きく異なる。炭素税の利点としては、安定的な財源の確保が挙げられる。排出量取引では、オークション方式を拡大することによって、取引の効率性、流動性が確保でき、公的財源の確保に資する可能性がある。行政ごとに、排出量取引を中心とした政策を組むか、炭素税や排出量規制を重視するか、あるいはそれらを組み合わせた政策をとるかは異なるだろう。また、どの部門を対象とした政策であるかによっても、政策手段の選択は異なる。

排出量取引制度は、国家間、部門間の炭素価格を平均化することのできる有効な政策手段のひとつである。EU ETS (EU 域内排出量取引制度) は、欧州における排出量削減政策の中心にある手法である。柔軟かつ効果的な行動を引き出すだけの枠組みを持たない限り、排出量取引を採用する利点はない。排出量取引が対象とする範囲を拡大させることによって、対策費用やそのボラティリティ^{§§§}を低減することができる。今後のルールや計画の全体像を明確かつ予測可能な形で示すことによって、将来の炭素価格への信頼性を向上させることができる。

^{§§§} [訳注] もとは金融用語で、ある銘柄についての価格変動性のこと。ここでは、対策費用の変動性を意味する。

In order to influence behaviour and investment decisions, investors and consumers must believe that the carbon price will be maintained into the future. This is particularly important for investments in long-lived capital stock. Investments such as power stations, buildings, industrial plants and aircraft last for many decades. If there is a lack of confidence that climate change policies will persist, then businesses may not factor a carbon price into their decision-making. The result may be overinvestment in long-lived, high-carbon infrastructure – which will make emissions cuts later on much more expensive and difficult.

But establishing credibility takes time. The next 10 to 20 years will be a period of transition, from a world where carbon-pricing schemes are in their infancy, to one where carbon pricing is universal and is automatically factored into decision making. In this transitional period, while the credibility of policy is still being established and the international framework is taking shape, it is critical that governments consider how to avoid the risks of locking into a high-carbon infrastructure, including considering whether any additional measures may be justified to reduce the risks.

Policies are required to support the development of a range of low-carbon and high-efficiency technologies on an urgent timescale.

The second element of climate-change policy is technology policy, covering the full spectrum from research and development, to demonstration and early stage deployment. The development and deployment of a wide range of low-carbon technologies is essential in achieving the deep cuts in emissions that are needed. The private sector plays the major role in R&D and technology diffusion, but closer collaboration between government and industry will further stimulate the development of a broad portfolio of low carbon technologies and reduce costs.

Many low-carbon technologies are currently more expensive than the fossil-fuel alternatives. But experience shows that the costs of technologies fall with scale and experience, as shown in Figure 5 below.

Carbon pricing gives an incentive to invest in new technologies to reduce carbon; indeed, without it, there is little reason to make such investments. But investing in new lower-carbon technologies carries risks. Companies may worry that they will not have a market for their new product if carbon-pricing policy is not maintained into the future. And the knowledge gained from research and development is a public good; companies may under-invest in projects with a big social payoff if they fear they will be unable to capture the full benefits. Thus there are good economic reasons to promote new technology directly.

Public spending on research, development and demonstration has fallen significantly in the last two decades and is now low relative to other industries. There are likely to be high returns to a doubling of investments in this area to around \$20 billion per annum globally, to support the development of a diverse portfolio of technologies.

消費者行動や投資計画を低炭素型のものへ転換させるためには、投資家や消費者が今後も炭素価格が堅持されると信頼できるような制度設計が求められる。とくに、長寿命の資本ストックへの投資行動を変化させるためには、このことが重要である。発電所、ビル、工場、航空機などへの投資は、数十年間にわたって行われる。気候変動抑制政策が長期にわたり実施されるといふ保証がなければ、企業の意志決定段階に炭素価格が関与する余地はなく、長寿命かつ炭素集約型のインフラストラクチャーへの過剰投資がなされてしまうに違いない。その結果として、将来の排出量削減における対策費用や実施困難性が増加することになる。

しかし、信頼を醸成するためには時間が必要である。炭素価格を用いた排出量削減政策の枠組みが誕生し、それが一般化して意志決定の段階で当然のように考慮されるような世界は、今後 10~20 年間の過渡期の間には実現されるであろう。過渡期の間には、炭素価格政策への信頼が生まれ、国際的な枠組みが構築される。各国政府はこの期間に、炭素集約型のインフラストラクチャーへの投資を抑制するかを真剣に検討する必要がある。このようなリスクを低減するためには、追加的な施策実施が必要となるかもしれない。

今すぐにも、低炭素、高効率技術開発にむけた幅広い政策を実施する必要がある

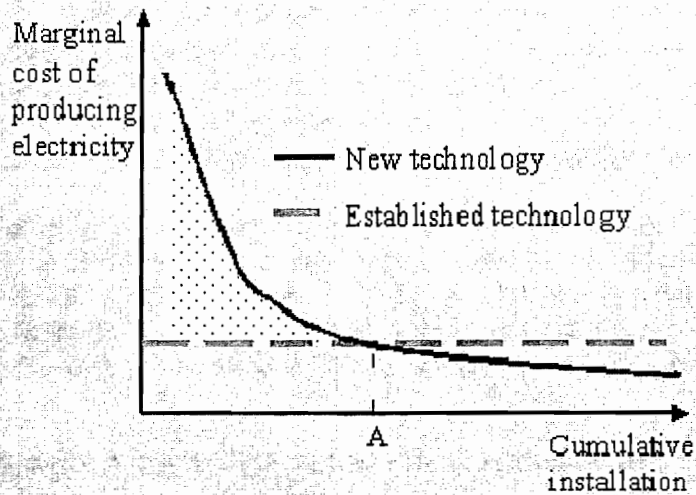
気候変動政策に求められる要素の 2 番目には、技術政策が挙げられる。このような政策には、研究開発および実証、急激な普及拡大まで幅広い範囲が含まれている。様々な分野にて低炭素技術を研究開発および実証させることなしには、大幅な排出量削減は期待できない。民間部門は、普及に対してきわめて重要な役割を担っている。それに加えて、政府と民間部門がいっそう緊密な協調関係を構築することによって、低炭素技術開発と費用低減をいっそう加速させることができるようになる。

低炭素技術の多くは、今のところは化石燃料を用いる従来型技術よりも高額である。しかし、そのコストは、生産量が増大し、普及規模が拡大することによって低減するであろうことはこれまでの経験により明らかになっている。図 5 には、このことを示している。

炭素価格は、炭素削減に向けた新技術への投資インセンティブであるとみることでもできる。このインセンティブなくしては、そのような投資がなされる可能性はきわめて低い。一方、低炭素技術の新規開発に対する投資には、常にリスクがある。炭素価格が将来も維持される保証がなければ、企業にとっては新製品の投入市場がなくなってしまう、投資が無駄になってしまうということにもなりかねないのである。しかし、研究開発を通じて得られる知識や技術は、公共財でもある。企業にとっては、研究開発によって社会的には便益を生み出すものの、自社に対しては利益を生み出さないようなプロジェクトには、投資インセンティブは働かない。このような技術開発に対して、政府が直接投資することは、経済学的に見た場合には十分な妥当性があるものと考えられる。

研究開発および実証に対する公共投資は、ここ 20 年間は大きく減少している。産業部門における研究開発投資と比較しても、公共部門からの投資額は低調であると言わざるを得ない。公共部門から、様々な低炭素技術への研究開発投資を世界全体で年間 200 億ドル（現在水準の 2 倍）まで増加させると、技術的ポートフォリオは拡大でき、かつ十分な利益を見込むことも可能である。

Figure 5: The costs of technologies are likely to fall over time



Historical experience of both fossil-fuel and low-carbon technologies shows that as scale increases, costs tend to fall. Economists have fitted 'learning curves' to costs data to estimate the size of this effect. An illustrative curve is shown above for a new electricity-generation technology; the technology is initially much more expensive than the established alternative, but as its scale increases, the costs fall, and beyond Point A it becomes cheaper. Work by the International Energy Agency and others shows that such relationships hold for a range of different energy technologies.

A number of factors explain this, including the effects of learning and economies of scale. But the relationship is more complex than the figure suggests. Step-change improvements in a technology might accelerate progress, while constraints such as the availability of land or materials could result in increasing marginal costs.

In some sectors - particularly electricity generation, where new technologies can struggle to gain a foothold - policies to support the market for early-stage technologies will be critical. The Review argues that the scale of existing deployment incentives worldwide should increase by two to five times, from the current level of around \$33 billion per annum. Such measures will be a powerful motivation for innovation across the private sector to bring forward the range of technologies needed.

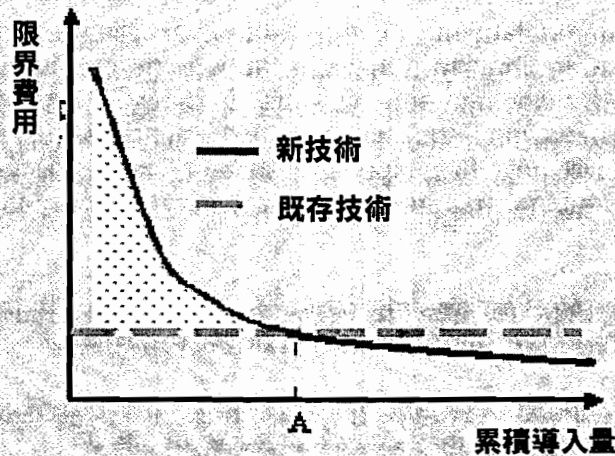
The removal of barriers to behavioural change is a third essential element, one that is particularly important in encouraging the take-up of opportunities for energy efficiency.

The third element is the removal of barriers to behavioural change. Even where measures to reduce emissions are cost-effective, there may be barriers preventing action. These include a lack of reliable information, transaction costs, and behavioural and organisational inertia. The impact of these barriers can be most clearly seen in the frequent failure to realise the potential for cost-effective energy efficiency measures.

Regulatory measures can play a powerful role in cutting through these complexities, and providing clarity and certainty. Minimum standards for buildings and appliances have proved a cost-effective way to improve performance, where price signals alone may be too muted to have a significant impact.

Information policies, including labelling and the sharing of best practice, can help consumers and businesses make sound decisions, and stimulate competitive

図5 技術コストは時間とともに低下する



化石燃料と低炭素技術のいずれでも、歴史的に規模が拡大することによってコストが減少することがわかってきている。経済学者は、コストデータに「習熟曲線」を当てはめることによって、この現象を説明してきた。習熟曲線は、新エネルギーにとどまらず、さまざまな技術にて見られる。市場投入の初期段階では、既存技術と比較してきわめて高額である。導入規模の拡大とともに、新技術のコストは低減できて、A点を超えると既存技術よりも安価となる。国際エネルギー機関他による研究では、このような関係は異なったエネルギー技術でも応用できることが示されている。習熟効果や規模の経済性により、この効果は説明されている。しかし、実際の関係は上図のように単純ではない。技術が段階的に改良されることによって、技術進歩は加速できるが、土地や資源の利用可能性などの制約によって、限界費用が増加することもありうる。

発電部門など新技術開発がそのままビジネスへ直結しにくい分野では、市場投入の初期段階には政策による支援が決定的に不可欠である。本レビューでは、技術導入のインセンティブを与えるための投資額を、世界全体では現在（年間340億ドル）の2～5倍に増額する必要があると考えている。インセンティブが強化されることによって、民間部門にとっても低炭素技術開発へのイノベーション創出の強力な追い風となるのである。

行動変化に係る障壁の除去が、排出量削減政策に対する最後の必須要素である。これは、社会としてのエネルギー効率向上のためには特に重要である

排出量削減政策における、最後の必須要素は、行動変化に係る障壁の除去である。排出量削減方策の費用対効果が高いとしても、実施に向けた障壁がある場合には効果を持たない。このような障壁の例としては、信頼できる情報の不足、取引費用、行動上・制度上の慣性が挙げられる。これらがあることによって、費用対効果が高く削減ポテンシャルも高い省エネルギー技術が、製品として普及できないことがよくある。

規制的手段を用いることによって、複雑に絡み合った障壁の多くを除去し、新技術の普及に対して明確な展望と確実性を与えることができる。建築基準や家電製品の基準に下限を設けることによって、価格シグナルのみでは十分な普及が見込めないケースでも、高性能技術が普及でき得るような費用対効果の高い手段になることは、歴史的にも証明されている。

性能情報表示の義務づけや、トップランナーとの比較などの消費者・企業に対する情報提供政策は、各主体が適切な意志決定をする助けとなるのみならず、低炭素、高効率の製品やサ

markets for low-carbon and high-efficiency goods and services. Financing measures can also help, through overcoming possible constraints to paying the upfront cost of efficiency improvements.

Fostering a shared understanding of the nature of climate change, and its consequences, is critical in shaping behaviour, as well as in underpinning national and international action. Governments can be a catalyst for dialogue through evidence, education, persuasion and discussion. Educating those currently at school about climate change will help to shape and sustain future policy-making, and a broad public and international debate will support today's policy-makers in taking strong action now.

Adaptation policy is crucial for dealing with the unavoidable impacts of climate change, but it has been under-emphasised in many countries.

Adaptation is the only response available for the impacts that will occur over the next several decades before mitigation measures can have an effect.

Unlike mitigation, adaptation will in most cases provide local benefits, realised without long lead times. Therefore some adaptation will occur autonomously, as individuals respond to market or environmental changes. Some aspects of adaptation, such as major infrastructure decisions, will require greater foresight and planning. There are also some aspects of adaptation that require public goods delivering global benefits, including improved information about the climate system and more climate-resilient crops and technologies.

Quantitative information on the costs and benefits of economy-wide adaptation is currently limited. Studies in climate-sensitive sectors point to many adaptation options that will provide benefits in excess of cost. But at higher temperatures, the costs of adaptation will rise sharply and the residual damages remain large. The additional costs of making new infrastructure and buildings resilient to climate change in OECD countries could be \$15 – 150 billion each year (0.05 – 0.5% of GDP).

The challenge of adaptation will be particularly acute in developing countries, where greater vulnerability and poverty will limit the capacity to act. As in developed countries, the costs are hard to estimate, but are likely to run into tens of billions of dollars.

Markets that respond to climate information will stimulate adaptation among individuals and firms. Risk-based insurance schemes, for example, provide strong signals about the size of climate risks and therefore encourage good risk management.

Governments have a role in providing a policy framework to guide effective adaptation by individuals and firms in the medium and longer term. There are four key areas:

- High-quality climate information and tools for risk management will help to drive efficient markets. Improved regional climate predictions will be critical, particularly for rainfall and storm patterns.
- Land-use planning and performance standards should encourage both private and public investment in buildings and other long-lived infrastructure to take account of climate change.

ービスを対象とした競争的市場を生み出すきっかけともなり得る。また、資金供給は、高効率製品の購入や、高効率技術の開発に要する先行投資額を低減できて、技術開発の促進や導入・普及の加速に対して有効な手段となりうる。

気候変動の本質と、その影響に対する理解を向上させることが、人々の行動を変化させ、各国政府の行動や、国際的な協調関係を生み出す上でも、きわめて重要である。知見の提示、教育を通じた情報提供と理解力向上、事実に基づいた説得、討論を通じた意見交換を進める上では、政府が仲介役となることが求められる。就学者層に対する教育は、将来の政策を打ち出し、それを長期にわたって維持するための助けとなる。幅広い大衆が参加した国際的公開討論会は、現在の政策決定者たちにとって強固な政策を実施するための追い風とすることができる。

適応策は気候変動の避けられない影響に対処するのに決定的に重要であるが、多くの国々で、十分に強調されてこなかった

適応策は、緩和策が効果を表れるまでの次の数十年のうちに起こる変化に対する、我々が用いる唯一の対抗手段である。

緩和策とは異なり、適応策はほとんどの場合、対策実施後に長く待たずとも、局地限定的な便益をもたらす。したがって、いくつかの適応策は、個人が市場動向や環境の変化に対処することを通じて、自発的にとられる。しかし、適応策のある面では、大規模なインフラストラクチャーに関する意思決定など、より大きな先見性と計画性が求められる。またある面では、世界に便益をもたらすような、気候システムについてのより改善された情報や気候に対してより耐性のある穀物や技術などといった公共財を必要とする。

経済全般を通じた適応策の費用と便益に関する定量的な情報は、今のところ限られている。気候の影響を受けやすい部門に関する研究では、費用を上回る便益をもたらすような適応策のオプションを提示している。しかし、より高い気温の条件下では、適応策の費用は急激に上がり、適応策では解決できないまま残る被害の割合が大きくなる。OECD 諸国において、気候変動に対応できるインフラストラクチャーや建物を新たに作るために余計にかかる費用は、年 150 億～1500 億ドルに上る可能性がある、これは GDP の 0.05～0.5%に匹敵する。

適応策への挑戦は、発展途上国においては特に難しい。これらの国々では、気候変動の影響を非常に受けやすく、貧困の問題があるために、対策する能力には限界があるだろう。先進国では、適応策の費用を推計することは難しいが、おそらく数百億ドルに達すると思われる。

気候に関する情報に反応するような市場では、個人や企業の適応策が促進される。例えば、リスクに基づいた保険の仕組みでは、気候変動リスクの大きさについて強いシグナルが出され、より良いリスクマネジメントを促進することになる。

政府の役割は、個人や企業がより効果的で中長期的な適応策の指針となるような、政策の枠組みを提供することにある。これには以下の 4 つの主要分野がある。

- 気候に関する質の高い情報とリスクマネジメントの手段は、より効率性の良い市場を促進する助けとなる。地域における天気予報、特に降雨と嵐のパターンに関する予報の精度の向上は、とりわけ重要である
- 土地利用の計画と実行に関する基準を制定することは、建築物や寿命の長いインフラストラクチャーに対して、民間投資、公共投資ともに、気候変動を考慮するようになることを促進する

- Governments can contribute through long-term policies for climate-sensitive public goods, including natural resources protection, coastal protection, and emergency preparedness.
- A financial safety net may be required for the poorest in society, who are likely to be the most vulnerable to the impacts and least able to afford protection (including insurance).

Sustainable development itself brings the diversification, flexibility and human capital which are crucial components of adaptation. Indeed, much adaptation will simply be an extension of good development practice – for example, promoting overall development, better disaster management and emergency response. Adaptation action should be integrated into development policy and planning at every level.

An effective response to climate change will depend on creating the conditions for international collective action.

This Review has identified many actions that communities and countries can take on their own to tackle climate change.

Indeed, many countries, states and companies are already beginning to act. However, the emissions of most individual countries are small relative to the global total, and very large reductions are required to stabilise greenhouse gas concentrations in the atmosphere. Climate change mitigation raises the classic problem of the provision of a global public good. It shares key characteristics with other environmental challenges that require the international management of common resources to avoid free riding.

The UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Kyoto Protocol and a range of other informal partnerships and dialogues provide a framework that supports co-operation, and a foundation from which to build further collective action.

A shared global perspective on the urgency of the problem and on the long-term goals for climate change policy, and an international approach based on multilateral frameworks and co-ordinated action, are essential to respond to the scale of the challenge. International frameworks for action on climate change should encourage and respond to the leadership shown by different countries in different ways, and should facilitate and motivate the involvement of all states. They should build on the principles of effectiveness, efficiency and equity that have already provided the foundations of the existing multilateral framework.

The need for action is urgent: demand for energy and transportation is growing rapidly in many developing countries, and many developed countries are also due to renew a significant proportion of capital stock. The investments made in the next 10-20 years could lock in very high emissions for the next half-century, or present an opportunity to move the world onto a more sustainable path.

International co-operation must cover all aspects of policy to reduce emissions – pricing, technology and the removal of behavioural barriers, as well as action on emissions from land use. And it must promote and support adaptation. There are significant opportunities for action now, including in areas with immediate economic benefits (such as energy efficiency and reduced gas flaring) and in areas where large-scale pilot programmes would generate important experience to guide future negotiations.

- 政府は、天然資源の保護、海岸の保全、そして非常事態への備えなどの、気候の影響を受けやすい公共財に関わる長期的な政策を行うことで、適応策に貢献できる
- 経済的なセーフティーネットが、社会の貧困層に対して必要となる。これらの人々は気候変動の影響に対してもっとも脆弱な層であるが、保険を含めて自己防衛策にもっともお金が使えない層である

持続可能な発展そのものが、適応策にとって決定的に重要な要素の、多様性、柔軟性、人的資源をもたらし。実際問題、ほとんどの適応策は、開発政策実施の延長線上にある。たとえば、全体的な開発の促進、より良い災害管理や、非常時対応などである。適応活動は、すべてのレベルにおいて開発政策・計画に統合されるべきである。

気候変動に対する効果的な対策は、国際的協調行動の条件を整えることが出来るかどうかにかかっている

本レビューでは、コミュニティや国家が気候変動に立ち向かうために、自らが取る行動（対策）を明らかにしてきた。

実際のところ、国、州、企業の多くが既に行動を取り始めている。ほとんどの国の排出量は、世界の総排出量に比べると相対的に小さいものであるが、大気中の温室効果ガス濃度の安定化を達成するためには、非常に大幅な排出削減を必要とする。気候変動への緩和策は、地球規模の公共財を管理する上での典型的な問題を惹起する。他の環境問題に取り組む場合と同様に、ただ乗りを回避するために共有資源の国際的な管理体制が要求されるという根本的な特徴がある。

国連気候変動枠組み条約や京都議定書、また他の様々な非公式のパートナーシップや対話は、国際協力を支援するような枠組みや、さらなる国際的協調行動を構築するための土台を提供している。

このかつてない規模の挑戦を行うには、問題の緊急性や気候変動に対する政策の長期目標について共通の展望を持つこと、および多国間の枠組みと協調的行動を基にした国際的な取組みを行うことが、必要不可欠である。気候変動対処のための国際枠組みは、国ごとに様々なやり方によって発揮されるリーダーシップに応え、かつそのようなリーダーシップを助長しなければならない。また、すべての国々が参加することを容易にし、かつ動機付けるようにしなければならない。国際的な取組みは、有効性、効率性、そして衡平性という各原則の上に築かれるべきであり、そのような原則が、既存の多国間の枠組みの土台となる。

行動は今すぐ起こされなければならない。多くの発展途上国においてエネルギーや交通の需要は急速に増加しており、また、多くの先進国においても、今後多くの固定資本を更新する計画がある。今後 10~20 年間に行われる投資は、次の半世紀の間のきわめて高い排出量を固定するものかもしれないし、反対に世界をもっと持続可能な道筋に動かす好機を与えるかもしれない。

国際協力は炭素価格付け、技術、行動上の障壁の除去、あるいは土地利用からの排出への対策といった、排出削減に関わる政策のすべての側面を対象範囲としなければならない。さらに、国際協力は適応策を推進し、支援しなくてはならない。行動を起こす絶好のきっかけが、今いくつかある。そのきっかけには（エネルギー効率化やフレアガスの削減など）今すぐ経済的便益が得られる分野のものもあれば、将来の国際交渉がふまえるべき重要な経験につながる、大規模なパイロット・プログラムのような分野も含まれる。

Agreement on a broad set of mutual responsibilities across each of the relevant dimensions of action would contribute to the overall goal of reducing the risks of climate change. These responsibilities should take account of costs and the ability to bear them, as well as starting points, prospects for growth and past histories.

Securing broad-based and sustained co-operation requires an equitable distribution of effort across both developed and developing countries. There is no single formula that captures all dimensions of equity, but calculations based on income, historic responsibility and per capita emissions all point to rich countries taking responsibility for emissions reductions of 60-80% from 1990 levels by 2050.

Co-operation can be encouraged and sustained by greater transparency and comparability of national action.

Creating a broadly similar carbon price signal around the world, and using carbon finance to accelerate action in developing countries, are urgent priorities for international co-operation.

A broadly similar price of carbon is necessary to keep down the overall costs of making these reductions, and can be created through tax, trading or regulation. The transfer of technologies to developing countries by the private sector can be accelerated through national action and international co-operation.

The Kyoto Protocol has established valuable institutions to underpin international emissions trading. There are strong reasons to build on and learn from this approach. There are opportunities to use the UNFCCC dialogue and the review of the effectiveness of the Kyoto Protocol, as well as a wide range of informal dialogues, to explore ways to move forward.

Private sector trading schemes are now at the heart of international flows of carbon finance. Linking and expanding regional and sectoral emissions trading schemes, including sub-national and voluntary schemes, requires greater international co-operation and the development of appropriate new institutional arrangements.

Decisions made now on the third phase of the EU ETS provide an opportunity for the scheme to influence, and become the nucleus of, future global carbon markets.

The EU ETS is the world's largest carbon market. The structure of the third phase of the scheme, beyond 2012, is currently under debate. This is an opportunity to set out a clear, long-term vision to place the scheme at the heart of future global carbon markets.

There are a number of elements which will contribute to a credible vision for the EU ETS. The overall EU limit on emissions should be set at a level that ensures scarcity in the market for emissions allowances, with stringent criteria for allocation volumes across all relevant sectors. Clear and frequent information on emissions during the trading period would improve transparency in the market, reducing the risks of unnecessary price spikes or of unexpected collapses.

Clear revision rules covering the basis for allocations in future trading periods would create greater predictability for investors. The possibility of banking (and perhaps borrowing) emissions allowances between periods could help smooth prices over time.

それぞれの持ち場において責任ある行動を取ることに互いに幅広く合意することは、気候変動のリスクを低減させるという大目的の達成に役立つだろう。これらの責任は、負担できる費用や持ちうる能力に配慮しなければならない。また、現状や経済発展の見通し、過去の歴史も鑑みる必要がある。

幅広い基盤を持ち、かつ持続性のある国際協力を確実なものにするには、先進国と途上国の両方に、衡平に負担を分配することが必要である。衡平性を全ての側面から捉えることのできるような、単純な公式は存在しない。しかし、国の収入、歴史的責任、そして1人あたりの排出量を基にした計算結果いずれも、経済的に豊かな国々において、2050年までに、1990年レベルから60～80%排出削減する責任があることを示している。

国際協調は、各国の行動に関する透明性と比較可能性をより、高めることによって促進され、また、維持される。

国際協調の中で早急になされなければならない最優先事項は、世界中でほぼ同じくらいの炭素価格を設定することと、炭素ファイナンスを途上国の対策を加速させるために用いることである

世界中でほぼ同じくらいの炭素価格を設定することは、炭素排出抑制にかかる全体的なコストを抑えるために必要であり、そのような価格設定は課税、排出量取引、そして規制を通じて可能になる。民間部門による途上国への技術移転は、国家活動や国際協調を通じて促進することができる。

京都議定書は、国際的な排出量取引を支えるための、有用な制度を制定した。この京都議定書でとられた手法から学び、その手法を土台にすることには、大きな意義がある。国際協調を今後どのように進めていくべきかを検討するに当たっては、様々な非公式の意見交換などもそうだが、UNFCCCにおける長期対話や京都議定書の有効性に関するレビューの機会を利用することが出来る。

民間部門の炭素取引の仕組みは、現在では、炭素ファイナンスの国際的なフローの中心となっている。国内レベルのものや自主的な取引も含めて、地域別および部門別排出量取引へと、相互に結びつけ拡張するためには、さらなる国際協調と適切な新しい制度の整備が必要である。

EU ETS の第3期について今なされている意思決定は、将来の国際炭素市場に影響を与え、EU ETS が炭素市場の中核となることを可能にするような機会を与える

EU ETS は世界最大の炭素市場である。EU ETS の第3期（2013年～2017年）の骨組みが現在話し合われている。この話し合いは、EU ETS を将来の国際炭素市場の中心に据えるため、長期ビジョンを明確に描く好機である。

EU ETS のビジョンを信頼性の高いものにするには、いくつかの要素がある。EU 全体の排出上限値は、市場における排出枠の量が定常的に不足している状態に保つよう設定されるべきであり、また、この排出枠は、厳密な配分基準に基づいてすべての関連部門に配分されるべきである。取引期間中の炭素排出量に関する明瞭な情報を定期的に提供することは、不必要な価格スパイク（短期的かつ急激な価格上昇）や予期せぬ価格の暴落のリスクを低減し、市場の透明性を高めることになる。

将来の取引期間における排出枠の配分基準に関するルールを明確にすることは、投資家に対してより大きな予測可能性を保証するものである。排出枠を、取引期間中に繰り越し（あるいは、場合によっては次期期間からの借り入れ）を許すことは、長期にわたる価格の平準化に役立つ。

取引参加者を、他の主要な産業部門や航空部門などに拡大することは、市場に奥行きを与え、競売方式の導入を増やすことは取引の効率性を高める。

Broadening participation to other major industrial sectors, and to sectors such as aviation, would help deepen the market, and increased use of auctioning would promote efficiency.

Enabling the EU ETS to link with other emerging trading schemes (including in the USA and Japan), and maintaining and developing mechanisms to allow the use of carbon reductions made in developing countries, could improve liquidity while also establishing the nucleus of a global carbon market.

Scaling up flows of carbon finance to developing countries to support effective policies and programmes for reducing emissions would accelerate the transition to a low-carbon economy.

Developing countries are already taking significant action to decouple their economic growth from the growth in greenhouse gas emissions. For example, China has adopted very ambitious domestic goals to reduce energy used for each unit of GDP by 20% from 2006-2010 and to promote the use of renewable energy. India has created an Integrated Energy Policy for the same period that includes measures to expand access to cleaner energy for poor people and to increase energy efficiency.

The Clean Development Mechanism, created by the Kyoto Protocol, is currently the main formal channel for supporting low-carbon investment in developing countries. It allows both governments and the private sector to invest in projects that reduce emissions in fast-growing emerging economies, and provides one way to support links between different regional emissions trading schemes.

In future, a transformation in the scale of, and institutions for, international carbon finance flows will be required to support cost-effective emissions reductions. The incremental costs of low-carbon investments in developing countries are likely to be at least \$20-30 billion per year. Providing assistance with these costs will require a major increase in the level of ambition of trading schemes such as the EU ETS. This will also require mechanisms that link private-sector carbon finance to policies and programmes rather than to individual projects. And it should work within a context of national, regional or sectoral objectives for emissions reductions. These flows will be crucial in accelerating private investment and national government action in developing countries.

There are opportunities now to build trust and to pilot new approaches to creating large-scale flows for investment in low-carbon development paths. Early signals from existing emissions trading schemes, including the EU ETS, about the extent to which they will accept carbon credits from developing countries, would help to maintain continuity during this important stage of building markets and demonstrating what is possible.

The International Financial Institutions have an important role to play in accelerating this process: the establishment of a Clean Energy Investment Framework by the World Bank and other multilateral development banks offers significant potential for catalysing and scaling up investment flows.

EU ETS を、最近現れてきた排出量取引（米国や日本における）と結びつけられるようにし、発展途上国における排出削減量も利用できる仕組みを維持・発展させることは、市場の流動性を高め、世界炭素市場の中核を作るのに役立つ。

発展途上国の排出削減を目的とした、有効な政策やプログラムを支援するための炭素ファイナンス供給量の拡大は、低炭素経済への転換を早めることになる

発展途上国は、自国の経済成長の伸びを、温室効果ガス排出量の伸びから切り離すために、相当の対策を既にとり始めている。例えば、中国は、2006年から2010年の間にGDPあたりのエネルギー消費量を20%下げ、再生可能エネルギーの利用を促進するという、非常に意欲的な国内目標をかかげている。インドは、中国と同じ期間を目標に、貧困層の人々への、よりクリーンなエネルギーの供給を拡大したり、エネルギー効率性を高めたりすることを含む、統合エネルギー政策を策定している。

京都議定書上のクリーン開発メカニズム（CDM）は、現在のところ、発展途上国における低炭素への投資を支える主要かつ公式な媒体である。CDMは、公的部門と民間部門のいずれもが急速に発展する新興経済国において、排出削減できるようなプロジェクトに投資することを可能とした。また、CDMは地域別排出量取引の仕組みを相互に結びつけることを促進する一つの方法でもある。

将来的には、費用対効果の高い排出削減策を支援するために、国際的な炭素ファイナンスの規模の拡大と、そのための国際制度が必要となるであろう。発展途上国における低炭素化への追加的費用は、少なくとも年間200～300億ドルになるであろう。途上国に対してこれらの投資コストを賄う開発援助を行うためには、EU ETSのような排出量取引の仕組みの取引規模を大々的に拡大する必要がある。また、民間部門の炭素ファイナンスを、個々のプロジェクトではなく、国家政策やプログラムと結びつけるようなメカニズムが必要である。そして、そのメカニズムは、国家、地域、あるいは部門での排出削減にむけた目標の文脈のなかで考えなければならない。これらの炭素財源のフローは、発展途上国における民間投資や各国政府の政策を加速させるのに欠かすことができない。

今は、信頼を構築する好機であり、また、低炭素型の発展への道筋の中で、大規模な投資の流れを作るための新しい手段を試験的に行う好機でもある。EU ETSを含む、現存する排出量取引の仕組みから得られる炭素クレジットを、どのくらい発展途上国から受け入れられるかという早期のシグナルは、まさに市場を形成し、その市場で何が可能かを示そうというこの重要な時期において、継続性を維持することに役立つ。

世界銀行や他の多国間開発銀行によって創設された「クリーンエネルギー投資フレームワーク」は、投資の流れを刺激し、規模を大きくするのに貢献する重要な可能性を秘めており、国際金融機関はこのようなプロセスを促進させる重要な役割を果たしている。

Greater international co-operation to accelerate technological innovation and diffusion will reduce the costs of mitigation.

The private sector is the major driver of innovation and the diffusion of technologies around the world. But governments can help to promote international collaboration to overcome barriers in this area, including through formal arrangements and through arrangements that promote public-private co-operation such as the Asia Pacific Partnership. Technology co-operation enables the sharing of risks, rewards and progress of technology development and enables co-ordination of priorities.

A global portfolio that emerges from individual national R&D priorities and deployment support may not be sufficiently diverse, and is likely to place too little weight on some technologies that are particularly important for developing countries, such as biomass.

International R&D co-operation can take many forms. Coherent, urgent and broadly based action requires international understanding and co-operation. These may be embodied in formal multilateral agreements that allow countries to pool the risks and rewards for major investments in R&D, including demonstration projects and dedicated international programmes to accelerate key technologies. But formal agreements are only one part of the story - informal arrangements for greater co-ordination and enhanced linkages between national programmes can also play a very prominent role.

Both informal and formal co-ordination of national policies for deployment support can accelerate cost reductions by increasing the scale of new markets across borders. Many countries and US states now have specific national objectives and policy frameworks to support the deployment of renewable energy technologies. Transparency and information-sharing have already helped to boost interest in these markets. Exploring the scope for making deployment instruments tradable across borders could increase the effectiveness of support, including mobilising the resources that will be required to accelerate the widespread deployment of carbon capture and storage and the use of technologies that are particularly appropriate for developing countries.

International co-ordination of regulations and product standards can be a powerful way to encourage greater energy efficiency. It can raise their cost effectiveness, strengthen the incentives to innovate, improve transparency, and promote international trade.

The reduction of tariff and non-tariff barriers for low-carbon goods and services, including within the Doha Development Round of international trade negotiations, could provide further opportunities to accelerate the diffusion of key technologies.

Curbing deforestation is a highly cost-effective way of reducing greenhouse gas emissions.

Emissions from deforestation are very significant – they are estimated to represent more than 18% of global emissions, a share greater than is produced by the global transport sector.

Action to preserve the remaining areas of natural forest is needed urgently. Large-scale pilot schemes are required to explore effective approaches to combining national action and international support.

技術革新や普及の加速に向けた国際協調の拡大により、適応策のコストは低減できる

民間部門は、世界のいずれの地域においても技術革新と普及に対しては中心的な役割を果たしている。しかし、「クリーン開発と気候に関する太平洋パートナーシップ」のような、政府による技術革新に係る課題克服に向けた国際協力の推進や、国家間正式協定などにより、国際協調の促進は可能である。技術における国際協調は、技術開発に伴うリスクや功績を共有できるのみならず、技術開発のさらなる促進や優先技術選択における協力関係の構築などが可能となる。

国ごとの技術の研究開発ならびに普及促進の優先順位を国際的に集成したとしても、必ずしもその内容が多様になるとは限らない。また、バイオマスのような発展途上国にてとくに必要とされるような、技術の比重がきわめて小さくなってしまいうことも多い。

技術開発の国際協力には、様々な形態がある。整合性と緊急性をもち、幅広い土台に立脚した対策には、国際的な共通理解と協力が欠かせない。このことは、実証プロジェクトや鍵をにぎる技術の、開発を加速させるような国際プログラムへの注力などを含む、研究開発への大きな投資のリスクと功績をプールすることが可能となるような、多数国の参加による正式な合意によって実現可能となる。しかし、正式な国家間の合意は、この話の一部分でしかない。より大きな協力を構築するための、相互の国家プログラムをより強く結びつけるような非公式合意も、前述の合意と負けず劣らずきわめて重要な役割を果たすものである。

開発支援のための国家政策に関する公式、非公式の国際協力は、国境を越えた新しい市場の規模を大きくし、コストの低減を加速している。多くの国々や米国の多くの州では、再生可能エネルギーに関する技術開発を支援するために特化した、国家目標や政策上の枠組みを定めてきている。透明性の確保と情報共有は、もうすでにこの新しい市場への関心を高める助けとなっている。技術普及のための手段を、国境を越えた貿易財として扱えるようにするという考え方を検討することは、技術支援の効果を高めることになる。ここで言う技術支援には、炭素隔離貯留技術の導入拡大や、特に途上国に適切であるような技術の使用を加速するために、必要な資源の流動性を高めることが含まれる。

規制や製品基準に関する国際協調は、より高いエネルギー効率性を促す、影響力のある手段である。この分野の国際協調は、費用対効果を向上するのみならず、技術革新へのインセンティブを高め、かつ国際貿易を促進することができる。

ドーハ開発ラウンドの国際貿易交渉の中で話し合われたものを含む、低炭素の製品やサービスへの関税や関税以外の貿易障壁を低減する試みは、鍵となる技術の普及伝播を加速するさらなる機会をもたらす可能性を持っている。

森林減少を食い止めることは、温室効果ガスを削減する上できわめて費用対効果が高い

森林減少に由来する排出量はきわめて大きい。推計によると、森林減少に伴う排出量は、世界全体の総排出量と比較すると18%に相当し、運輸部門の排出量よりも大きい。

まだ残っている天然林を保護するための対策が、早急にとられなければならない。各国の対策と国際支援を組み合わせるための効果的なアプローチを探るためには、規模の大きい先駆的な仕組みを試してみることが必要である。

Policies on deforestation should be shaped and led by the nation where the particular forest stands. But those countries should receive strong help from the international community, which benefits from their actions to reduce deforestation. At a national level, defining property rights to forestland, and determining the rights and responsibilities of landowners, communities and loggers, is key to effective forest management. This should involve local communities, respect informal rights and social structures, work with development goals and reinforce the process of protecting the forests.

Research carried out for this report indicates that the opportunity cost of forest protection in 8 countries responsible for 70 per cent of emissions from land use could be around \$5 billion per annum initially, although over time marginal costs would rise.

Compensation from the international community should take account of the opportunity costs of alternative uses of the land, the costs of administering and enforcing protection, and the challenges of managing the political transition as established interests are displaced.

Carbon markets could play an important role in providing such incentives in the longer term. But there are short-term risks of destabilising the crucial process of strengthening existing strong carbon markets if deforestation is integrated without agreements that strongly increase demand for emissions reductions. These agreements must be based on an understanding of the scale of transfers likely to be involved.

Adaptation efforts in developing countries must be accelerated and supported, including through international development assistance.

The poorest developing countries will be hit earliest and hardest by climate change, even though they have contributed little to causing the problem. Their low incomes make it difficult to finance adaptation. The international community has an obligation to support them in adapting to climate change. Without such support there is a serious risk that development progress will be undermined.

It is for the developing countries themselves to determine their approach to adaptation in the context of their own circumstances and aspirations. Rapid growth and development will enhance countries' ability to adapt. The additional costs to developing countries of adapting to climate change could run into tens of billions of dollars.

The scale of the challenge makes it more urgent than ever for developed countries to honour their existing commitments – made in Monterrey in 2002, and strengthened at EU Councils in June 2005 and at the July 2005 G8 Gleneagles Summit – to double aid flows by 2010.

Donors and multilateral development institutions should mainstream and support adaptation across their assistance to developing countries. The international community should also support adaptation through investment in global public goods, including improved monitoring and prediction of climate change, better modelling of regional impacts, and the development and deployment of drought- and flood-resistant crops.

森林減少に関する政策は、その森林を持っている国が形作り、先導していくべきである。しかし、これらの森林を持つ国々は、森林減少が停止することによって、便益を得ることになる国際社会から、強い支援を得るべきである。国家レベルでは、森林の所有権の定義づけと、土地所有者、地域社会、居住者の権利と責任の明確化が、効果的な森林管理の鍵となる。また、これには地域社会が、非公式の権利や社会構造を尊重しつつ、発展目標にむかって働きかけ、森林保護プロセスを強化していくことが必要である。

本レビューのために行われた研究によると、土地利用に由来する総炭素排出量の70%は8カ国が占めており、その森林保護にかかる機会費用は、当初はおよそ50億ドルであり、時間とともに徐々に上昇するであろうと見られている。

国際社会からの補償は、代替的土地利用にかかる機会費用、森林保護を運営管理し、実施するためのコスト、既得権益がなくなることによる政治的な転換を克服するという課題などを考慮にいれて行われる必要がある。

炭素市場は、長期的なインセンティブを提供することにおいて、重要な役割をもっている。しかしながら、短期的には、もし、炭素排出削減への強い需要があるという合意がないまま、森林減少と炭素市場とを同時に推進するのであれば、既存の強固な炭素市場をさらに強化するためのプロセスを不安定化してしまうリスクがある。このような合意は、どのくらいの規模の土地利用の転換が必要かということについての共通理解に基づいてなされなくてはならない。

国際的開発援助により、発展途上国における適応に向けた努力を支援し、加速していく必要がある

とくに貧しい発展途上国は、気候変動の原因にはほとんど関与していないにもかかわらず、その結果には最初に、しかももっとも大きな影響を受ける。これらの国々は低収入であり、適応策実施のための資金調達には大きな困難が伴う。世界全体にて適応策を実施するためには、国際社会はこのような国々に対する支援を強化することが義務であるといえる。国際社会の支援なくしては、発展途上国では経済発展と適応策実施とを両立することはきわめて困難であろう。

実際にどのような適応策を実施するかは、発展途上国それぞれが、各国の現状と将来像とを勘案して自から決定すべき事項である。また、発展途上国にて急速な経済発展を進めることにより、適応能力も高めることが可能となる。気候変動の対応策実施に係る追加的コストは、発展途上国では数百億ドルにも達すると見られている。

2002年のモンテレー合意では、先進国が発展途上国への援助額を2倍にするという合意がなされ、その後2005年6月にはEU理事会、同年7月にはG8グレンイーグルズサミットにて改めて合意事項の確認がなされた。気候変動への挑戦は大規模な課題であり、この合意を、いかに緊急性を持って実現できるかが重要となる。

先進国における発展途上国への資金援助や、多国的開発機関の支援は、適応策を中心に据えて、その実施を支援できるものでなくてはならない。国際社会は、地球的公共財への支援を通じて適応策を支援することが望まれている。そのためには、気候変動の観測、予測精度の向上や、地域的影響のよりよいモデル化、干ばつや洪水に耐性の高い作物の開発および普及などが必要となる。

In addition, efforts should be increased to build public-private partnerships for climate-related insurance; and to strengthen mechanisms for improving risk management and preparedness, disaster response and refugee resettlement.

Strong and early mitigation has a key role to play in limiting the long-run costs of adaptation. Without this, the costs of adaptation will rise dramatically.

Building and sustaining collective action is now an urgent challenge.

The key building blocks for any collective action include developing a shared understanding of the long-term goals for climate policy, building effective institutions for co-operation, and demonstrating leadership and working to build trust with others.

Without a clear perspective on the long-term goals for stabilisation of greenhouse gas concentrations in the atmosphere, it is unlikely that action will be sufficient to meet the objective.

Action must include mitigation, innovation and adaptation. There are many opportunities to start now, including where there are immediate benefits and where large-scale pilot programmes will generate valuable experience. And we have already begun to create the institutions to underpin co-operation.

The challenge is to broaden and deepen participation across all the relevant dimensions of action – including co-operation to create carbon prices and markets, to accelerate innovation and deployment of low-carbon technologies, to reverse emissions from land-use change and to help poor countries adapt to the worst impacts of climate change.

There is still time to avoid the worst impacts of climate change if strong collective action starts now.

This Review has focused on the economics of risk and uncertainty, using a wide range of economic tools to tackle the challenges of a global problem which has profound long-term implications. Much more work is required, by scientists and economists, to tackle the analytical challenges and resolve some of the uncertainties across a broad front. But it is already very clear that the economic risks of inaction in the face of climate change are very severe.

There are ways to reduce the risks of climate change. With the right incentives, the private sector will respond and can deliver solutions. The stabilisation of greenhouse gas concentrations in the atmosphere is feasible, at significant but manageable costs.

The policy tools exist to create the incentives required to change investment patterns and move the global economy onto a low-carbon path. This must go hand-in-hand with increased action to adapt to the impacts of the climate change that can no longer be avoided.

Above all, reducing the risks of climate change requires collective action. It requires co-operation between countries, through international frameworks that support the achievement of shared goals. It requires a partnership between the public and private sector, working with civil society and with individuals. It is still possible to avoid the worst impacts of climate change; but it requires strong and urgent collective action. Delay would be costly and dangerous.

加えて、気候変動に対する保険について、官民の協調関係を築くための努力を強化しなくてはならない。また、リスク管理と準備、大災害への対処、避難民の再定住を強化できるようなメカニズムの発展も必要である。

適応に向けた長期的な費用削減のためには、早期の強固な緩和策の実施が不可欠である。それなしでは、適応に向けた費用は劇的に上昇する。

共同的な行動を構築し、継続することが、今や、喫緊の挑戦である

共同的な行動にはその内容にかかわらず、気候政策の長期的目標に係る理解の共有、国際協調に向けた効果的な制度の創設、リーダーシップの発揮と相互の信頼関係の構築が鍵となる。

大気中の温室効果ガス濃度に関する明確かつ長期的な将来像を共有することによって、目標達成に向けた十分な対策を実施することが可能となる。

緩和策、イノベーション、適応策は、気候変動対策には必須の要素である。我々の目の前には、行動を始めるきっかけが非常に多く存在している。対策の中には、実施とともに便益をもたらすようなものや、将来の対策に有益な知見をもたらすような大規模実証プログラムなども含まれている。加えて、国際協調を支援できる機関は、すでに設立されている。

今後は協調行動の範囲を、対策のあらゆる側面へと拡大し、関係を強化しなくてはならない。そのためには、炭素価格や炭素市場の国際的共同による創設、低炭素技術の技術革新および普及の促進、土地利用変化に伴う排出量の抑制、気候変動による最悪の影響に対して最貧国でも適応策を実施できるような支援制度の創設、などが必要である。

もし、強力な共同的な行動を今開始するならば、気候変動による最悪の影響を回避するための時間はまだある

本報告書では、リスクと不確実性の経済性に着目し、長期にわたり深刻な影響を及ぼすと考えられる地球規模の問題を解決するための方策を、様々な経済的手法を用いて検討してきた。しかしながら依然として不確実性は幅広く残されており、分析手法も発展途上であることから、この分野における科学者や経済学者の貢献がいっそう必要とされている。このように気候変動を評価する上での課題は残されてはいるものの、気候変動への対策をとらない場合にはきわめて大きな経済的リスクが生まれるであろうことは、明確である。

気候変動のリスクを低減するには、様々な方策が考えられる。適切なインセンティブを与えることによって、民間部門が気候変動を自分の問題として捉えるようになり、自主的に対策を実施するようになる。大気中温室効果ガス濃度を安定化させるためには、巨額の費用が必要とされるが、我々が払えないような額ではない。

投資パターンの変化や、低炭素経済（low-carbon economy）への移行を促すためのインセンティブを与えられる政策手段はすでに揃っているものの、気候変動に伴う不可避の影響への対応策とともに実施することが肝要である。

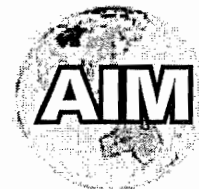
何にもまして、気候変動のリスク低減には、世界全体での一致団結した取り組みが必要である。そのためには、世界全体が目的意識を共有し、国際的枠組みを通じた多国間の協力関係の構築が求められる。また、公共部門と民間部門の連携のみならず、市民社会や個人との協力関係の構築も重要である。今すぐに、強固な共同的な行動を実施することによって、気候変動による最悪の影響を回避することは可能である。遅れると、高くつき危険が増すだろう。

The Japanese translation of the original English language Stern Review text was undertaken by the AIM Team and National Institute for Environmental Studies, Japan, under the supervision of the British Embassy Tokyo and the Japanese Ministry of the Environment. February 2007. This document remains Crown copyright and has been produced with the permission of HM Treasury. PSI License number C2006010352.

スターン・レビュー概要は、日本国環境省と駐日英国大使館の企画・監修のもと、AIM (Asia-Pacific Integrated Modeling) チーム及び国立環境研究所により日本語に翻訳された。2007年2月。日本語版翻訳文書は Crown copyright に準じ、英国財務省の認可を得て作成された。PSI ライセンス番号 C2006010352。



独立行政法人 国立環境研究所



Printed in Japan on recycled paper
この印刷物は再生紙を使用しています。