

第 1 章

1

地球温暖化問題の変遷と  
電力中央研究所の取り組み

## 第1章 地球温暖化問題の変遷と当研究所の取り組み 目次

狛江研究所 研究調査担当 上席研究員 西宮 昌  
我孫子研究所 環境科学部長 上席研究員 丸山 康樹  
狛江研究所 微量物質課題推進担当 上席研究員 朝倉 一雄  
研究企画部 上席研究員 研究参事 新田 義孝

1 - 1 国際・国内動向 .....	9
コラム1：温暖化防止国際会議（COP）への参加 .....	13
コラム2：IPCC第三次評価書の概要 .....	14
1 - 2 当研究所の取り組み・スタンス .....	17



西宮 昌（1968年入所）  
地球温暖化課題推進担当(平成6～12年度)。  
MECCAやACACIAなど気候変動研究にかかわる国際共同研究プログラムを推進。現在、温暖化条件下におけるアジア・大洋州の脆弱性評価や電力技術移転方策の調査を実施中。



丸山 康樹（1976年入所）  
1990年の初めから、温暖化予測研究に従事。一時、経営調査室において、トリレンマ問題の解決のため有識者会議の運営を分担。その後、米国NCARとの共同研究を開始し、CO<sub>2</sub>排出シナリオと全球温暖化予測を主に分担。



朝倉 一雄（1971年入所）  
火力発電所の排ガス拡散実態調査および排ガス拡散予測手法、石炭火力発電所微量物質の環境影響評価など発電所の大気環境影響評価に係わる研究に従事、企画部で環境研究全般にわたる総合推進業務を担当、現在、微量物質研究課題の総合推進を担当。



新田 義孝（1970年入所）  
入所以来20年間、電力ケーブルなどを対象に電気絶縁材料の劣化を研究。その後、石炭ガスか複合発電乾式脱硫方式の開発などを手がけ、最近の15年間は地球環境とエネルギー問題で脱硫石膏によるアルカリ土壌改良などプロジェクトの発掘を手がけている。

## 1 - 1 国際・国内動向

### 1-1-1 環境問題の広がり

仁徳天皇作と伝えられている歌『高き屋にのぼりて見れば煙立つ民の竈賑わひにけり』のように、かつては、工場から大量に排出される煙は、経済の繁栄の象徴であった。産業革命以降、我々が営々と築き上げてきた近代工業文明は、人類を飢餓や病苦から解放する一方で、世界人口や人間活動の規模を爆発的に拡大させた。その結果、今では、人間活動による環境への過剰な負荷が、地球温暖化問題に代表されるように、人間社会の健全な維持・発展を脅かす地球環境の破壊という局面を迎えるまでになっている。

人間活動の結果として生じる今日の環境問題は、三つの大きな広がりを持っている。第一は、特定の生産・生活活動から生活・生産・都市活動へ、そして社会・経済の仕組みを経て人間の生存そのものに係る原因となる行為の広がりであり、第二は、その影響が現世代のみならず、次世代、将来世代にも及ぶ時間的広がりであり、第三は、局所から地域、地球規模への空間的広がりである。

すなわち、環境問題は、従来の大気汚染や水質汚濁といった地域限定の局所的ないわゆる「産業・都市公害」問題から、石炭や石油など化石燃料の燃焼によって排出される二酸化硫黄や窒素酸化物が大気中での複雑な物理・化学過程を経て発生源から数1,000km離れた地域に酸性降下物として降り注ぐ「酸性雨」、フロンなどの人工化学物質が太陽からの有害な紫外線から地球上の生態系を保護する成層圏のオゾン層を破壊する「オゾン層破壊」、そして大気中の増加し続ける温室効果ガスが地球の気候を変化させる「地球温暖化」等への地球規模の環境変化 - グローバル・チェンジ - の問題に広がったのである。

### 1-1-2 地球環境問題への警鐘と国際的関心の高まり

人類の存続に関わる問題について研究・提言を行う学識者による国際的な民間団体「ローマクラブ」は、1972年の「国連人間環境会議（ストックホルム会議）」でレポー

ト「成長の限界」を世界に向けて発表し、「成長は地球規模の環境制約により、早晚限界に達する」と警鐘を鳴らした。このまま人口増加や環境悪化が続けば、100年以内に地球の成長が限界に達する、環境は倍々で悪化するが、人々の認識の癖により有効な対策を打てない、結局、地球規模の危機に突然襲われることになる、というものである。この警鐘は、「持続可能な開発」を目指して、さまざまな国際的取り組みが始められるきっかけとなった。

米国カーター大統領は、1980年に、彼のブレーンを総動員して取り纏めた「西暦2000年の地球」を公表した。その中で、世界各国が資源の枯渇と環境悪化の未然防止行動を取らない限り、20世紀末までに、地球の生命維持力の低下、急速な人口増大、耕地・漁業資源・森林・動植物種の減少、地球の大気や水の悪化、が生じると警告し、「地球環境問題」の概念が確立した。

わが国でも昭和55年（1980年）に環境庁長官の私的懇談会「地球規模の環境問題に関する懇談会」が設置され、地球温暖化問題を始めとする地球環境問題について様々な議論を行い、報告書にまとめた。昭和57年（82年）の報告に基づく提案は、国連環境計画（UNEP）管理理事会を通じて、「環境と開発に関する世界委員会（WCED）」の設立（1982年）に繋がった。

1982年に発表されたWCEDの報告書「Our Common Future（我ら共通の未来）」の主題は、『持続可能な開発（将来の世代のニーズを満たす能力を損なうことなく、今日の世代のニーズを満たすような開発）』であり、狭義の環境問題を超えて、食糧安全保障、エネルギーから、人口問題、国際経済、安全保障問題まで、広範なテーマに及んでいる。

世界的な地球環境問題への高まりを背景に、ストックホルムの「国連人間環境会議」から20年を経た1992年にブラジルのリオデジャネイロで開かれた「環境と開発に関する世界委員会（別名「地球サミット」）」には、国連に加盟するほぼ全ての国が参加し、温暖化防止のための気候変動枠組み条約や生物多様性条約等の枠組み作りが合意された。『持続可能な発展』の基本理念の下に、地球環境保全の憲法ともいわれる「環境と開発に関するリオ宣言」やこれを実現するための世界行動指針「Agenda 21」が採択された。

一方、20年前の国連環境会議では、「公害」を経済成長の証として、“We Want pollution（我々は公害が欲しい）”を主張する途上国もあったが、地球サミットではそのような考えは形を潜め、『持続可能な発展』の考え方の下に、「開発途上国の環境と開発」がクローズアップされるようになった。

### 1-1-3 地球温暖化問題に関する国際的取り組み

地球温暖化問題が急速に国際政治課題として浮上したのは、科学的知見の整理、評価を行うために85年にオーストリアのフィラハで開かれた地球温暖化に関する科学者による初めての世界会議が切っ掛けになっている。その後、フィラハ会議で整理された科学的知見を基に、87年にはイタリアのベラジオで地球温暖化防止策について初めての行政レベルの会議が持たれた。88年のカナダのトロントで開かれた会合では、科学者と政府関係者が一同に会し、「2005年までにCO<sub>2</sub>排出量を20%削減する」という具体的な数値目標が提案された。

また、88年には、世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）が、世界の科学者で構成する「気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）」を設立した。

IPCCは、気候変動に関する発表された最新の科学的知見を広く調査・評価し、各国政府に助言・勧告を行うことを目的に、観測事実・予測、影響・適応策・対応策、社会的経済的側面の三つので構成される作業部会で、地球温暖化の知見の収集と整理を行い、評価報告書として取り纏めた。これまで、90年に第一次（FAR）、95年に第二次（SAR）、2001年には第三次（TAR）の各評価報告書が発表された。第三次報告書（TAR）は、気候変動予測を扱う第1作業部会報告書、温暖化の影響・適応を扱う第2作業部会報告書、温暖化への対策・政治経済的側面の評価を扱う第3作業部会報告書および統合報告書の4部構成で、人間活動による気候変化が既に検知されるまでになっており、温暖化の影響が顕在化していることを明確に指摘した。

今後、国際政治の場での「地球温暖化問題」への取り組みは、IPCCによる科学的評価がベースになって進展することになる。

89年にオランダのノルドヴェイクで開かれた「大気汚染と気候変動に関する環境閣僚会議」では温室効果ガスの排出量を「安定化」させる必要性についての認識を促すためのノルドヴェイク宣言が採択され、90年の第二回世界気象会議では、今後の国際的取り組みを方向付けた、各国が協力して地球温暖化防止に取り組むべきことに合意する閣僚宣言が出された。

これを受けて、90年には国連内に「気候変動に関する枠組み条約交渉会議」が設置され、6回に及ぶ激しい議論の結果、92年（平成4年）5月、第5回気候変動に関する政府間交渉で温暖化防止のための「国連気候変動枠組み条約UNFCCC」が採択された。92年6月にリオの地球サミットで各国の署名が始まり、ECを含む154ヶ国が署名し、1994年（平成6年）3月に発効した。

枠組み条約の究極の目標は、「温室効果ガスの濃度を『生態系が気候変化に自然に適応し、食糧の生産が脅かされず、かつ、経済活動が持続可能な様態で進行することができるような期間内に』安定化させること（第2条）」で、IPCC SARによれば、CO<sub>2</sub>濃度を現在のレベルに安定化させるには人為的排出量の50～70%を直ちに削減する必要があること、またCO<sub>2</sub>濃度を何らかの濃度レベルに安定化させる場合でも排出量を90年レベルより相当量削減する必要があることを指摘している。

参加各国は、2000年までに温室効果ガスの排出量を自主的に1990年レベルに安定化させることを申し合わせた。法的拘束力を課さなかったために、約束を実行できた国はなかった。そのため、各締約国、特に先進国の排出削減計画や実施状況の検証、新たな仕組みなど、「気候変動枠組み条約」の具体的方策を話し合うための最高意思決定機関として「the Conference of the Parties（締約国会議：略称COP）」が設置された。

1995年のCOP1（第1回会合）で2000年以降の取り組みの検討課題や手順を定めた「ベルリン・マンデート」が、97年のCOP3で「京都議定書」がそれぞれ採択された。

「京都議定書」には、温暖化防止のための法的拘束力を持つ数値目標が定められている。

議定書の概要を表1-1-1、表1-1-2に示す。

また、自国内のみで目標達成が困難な場合の柔軟性措置である「京都メカニズム」の概要は以下の通りである。

### 共同実施（JI）

表1-1-1 京都議定書の概要

項目	内容
対象ガス	CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、HFC、PFC、SF <sub>6</sub>
吸収源	森林等の吸収源による温室効果ガス吸収量を算入
基準年	1990年（HFC、PFC、SF <sub>6</sub> は1995年としてもよい）
目標期間	2008年から2012年
目標	先進国全体で少なくとも5%削減を目指す

表1-1-2 国別の削減率

国	削減率 (%：90年比)
EU(15ヶ国)、ブルガリア、チェコ、エストニア、ラトビア、リヒテンシュタイン、リトアニア、モナコ、ルーマニア、スロバキア、スロベニア、スイス	-8
アメリカ	-7
カナダ、ハンガリー、日本、ポーランド	-6
クロアチア	-5
ニュージーランド、ロシア、ウクライナ	0
ノルウェー	+1
オーストラリア	+8
アイスランド	+10

- 先進国（市場経済移行国を含む）間で、温室効果ガスの排出削減または吸収増進の事業を実施し、その結果生じた排出削減単位（ERU）を関係国間で移転（または獲得）することを認める制度。

#### クリーン開発メカニズム（CDM）

- 途上国（非附属書国）が持続可能な開発を実現し、条約の究極目的に貢献することを支援するとともに、先進国が温室効果ガスの排出削減事業から生じたものとして認証された排出削減量（CER）を獲得することを認める制度。
- 先進国にとって、獲得した削減分を自国の目標達成に利用できると同時に、途上国にとっても投資と技術移転の機会が得られるというメリットがある。

#### 排出量取引（ET）

- 排出枠（割当量）が設定されている附属書国（先進国）の間で、排出枠の一部の移転（または獲得）を認める制度。

COP4以降、京都議定書の具体化のための議論が重ねられた。2001年7月COP6再会合における閣僚級会合の合意（ボン合意）の主な内容を以下に示す。

#### 途上国問題

気候変動特別基金（条約）と適応基金（議定書）を新設する。額は政治的宣言の中に折りこむこととされ、示されなかった。

#### 京都メカニズム

- 補完性は「国内対策は目標達成の重要な要素を構成」と定性的な表現になった（排出枠購入の定量的な制限はなし）。
- 排出量取引の売り過ぎ防止措置として、各国は排出枠の90%または2008年の直前の排出量のうち低い方を保持する（一定以上は排出枠を売ることはできないという定量的な制限）。
- 共同実施やCDMにおける原子力は差し控える。

#### 吸収源

森林管理の吸収分は、国ごとに上限を設けることで日本などに譲歩した。日本の上限は共同実施を含め1300万トン（約3.9%）となった。CDMのもとでの吸収源利用は1%を上限とする。

#### 遵守

- 削減目標を達成できなかった場合、超過した排出量は3割増しで次の期間の排出枠から差し引く。
- 遵守委員会の構成は先進国対途上国の構成が4対6。
- 法的拘束力をどう規定するかについては、議定書発効後の第1回会合で決める。

京都議定書は2002年の条約発効を目指し、2000年のCOP6で各国政府間の協議が進められたが、温暖化問題は各国の利害関係が複雑に対立するため、合意形成が難航した。対立する主な論点は、CO<sub>2</sub>排出量取引などの「京都メカニズム」、森林などのCO<sub>2</sub>吸収の削減分への算入、削減目標を守れなかった場合の措置、途上国の温暖化対策への先進国の支援途上国支援、である。01年のCOP6ボン再会合でこれらの課題についてのボン合意がなされたことは、たとえアメリカの離脱があったとしても意義が深い。

COP6会議の初日冒頭のスピーチで、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）のボブ・ワトソン議長は科学の知見をベースに地球温暖化の深刻な状況について報告をした。

気温や海面の上昇、降水パターンの変化、氷河の後

退、北極海の薄氷化等、地球の気候は変化している  
人間活動が温室効果ガスの大気中濃度を変えている  
観測される気候変動には人間活動が原因とみられる  
科学的証拠がある

21世紀中に地球の年平均気温や海面水位の上昇、  
降水パターンの変化が予想される

その結果、乾燥・半乾燥地域の水資源、熱帯・亜熱  
帯の農業生産性、生態系資源を原材料とする製品と利  
用など生態系の構成と機能、海面上昇による人間居住  
環境、媒介性疾病など人間の健康、に多大な影響を与  
える

地球の気候の変化は避けられない

気候変化の大きさや速さは、温室効果ガス削減策と  
して採用される政策・手段・技術次第である

今日の気候変動や長期的な人間活動に起因する気候  
変化に対する社会経済システム・生態系・人間の健康  
などの脆弱性を減少させるために適応戦略が採られな  
ければならない

このような科学者からの提言・勧告は京都議定書の発  
効に向けて大きな弾みになるかに見えたが、各国・各地  
域の利害が錯綜し、合意には至らなかった。

#### 1-1-4 日本の対応

わが国は地球規模の環境問題の進行を受けて、平成元  
年（1989年）に「地球環境保全に関する関係閣僚会議」  
を設置した。翌1990年に地球温暖化問題に対応するた  
めに「地球温暖化防止行動計画」を策定し、92年の地  
球サミットでは、この計画の達成を国際的に公約した。  
「行動計画」においては、CO<sub>2</sub>の排出抑制目標につい  
ては、一人当たりの排出量について、2000年以降概ね  
90年レベルでの安定化を図るとともに、さらに革新  
的技術開発などが早期に大幅に進展することにより、排  
出総量が2000年以降概ね90年レベルで安定化するよう  
努める、としている。以後、これに沿ってわが国の温暖  
化対策が進められたが、必ずしも実効性のあるものでは  
なく、CO<sub>2</sub>の排出を抑制することはできず、2000年時点  
の目標達成は困難な状況になった。

一方、92年の地球サミットで「気候変動枠組み条約」  
に署名し、93年に批准した。93年には「環境基本法」  
を公布・施行し、これを具体的行動に移すための「環境

基本計画」を閣議決定した。

「京都議定書」が採択された97年のCOP3の直後、総  
理大臣を本部長とする「地球温暖化対策推進本部」が設  
置され、98年には「地球温暖化対策推進大綱」を決定し  
た。京都議定書の目標年次2010年に向けて、わが国の温  
暖化政策はこの大綱の枠組みで進められることになった。

また、経団連は、1991年に地球サミットに先駆けて、  
「経団連地球環境憲章」を策定し、「環境問題への取り組  
みが企業の存在と活動に必須の要件である」との認識を  
基本理念として掲げ、環境保全にむけて自主的かつ積極  
的に取り組みを進めていくことを宣言した。96年には、  
地球環境憲章の理念を具体的な行動に結びつけるため、  
「経団連環境アピール」を発表し、温暖化対策につい  
ては、産業界として実効ある取り組みを進めるべく、自主  
行動計画を策定することを宣言した。これを受けて、翌  
97年に、「経団連環境自主行動計画」を策定し、温暖化  
対策については、「2010年度に産業部門及びエネルギー  
転換部門からのCO<sub>2</sub>排出量を1990年度レベル以下に抑  
制するよう努力する」という統一目標を掲げ、産業部門  
及びエネルギー転換部門34業種（2001年度からは36業  
種）が目標達成に向けて取り組みを進めている。

これに呼応して、電気事業は環境問題への取り組みを  
経営の最重要課題のひとつとして位置付け、1996年11  
月に「電気事業における環境行動計画」を策定し、毎年  
チェック&レビューを行い、結果を公表している。

一方、研究面においても、1988年に発足した気候変  
動に関する政府間パネルIPCCに呼応し、世界やわが国  
の気候研究機関では予測精度向上のための研究が活発化  
した。

わが国では、平成8年（1996年）に、航空・電子等技  
術審議会地球科学技術部会が「地球変動予測計画」を提  
言し、97年には科学技術庁プロジェクト（地球フロン  
ティア計画/地球シミュレータ開発計画）が開始した。  
「地球シミュレータ」は、高度な計算科学技術を駆使し  
て地球のさまざまな現象をコンピュータ上で再現する言  
わば「仮想地球」を実現するもので、現在のスーパーコ  
ンピュータと比較して約1000倍程度の高速な処理能力  
を持つ超高速並列計算機で、2002年に運用開始の予定  
である。これによって、地球全体の気候や海洋の現象が  
数10kmの規模で表現することができるようになるため、  
世界の気候研究者から大きな注目を集めている。

## コラム1：温暖化防止国際会議（COP）への参加

世界各国が協調して温暖化防止に取り組むため1995年に発足した国連気候変動枠組条約締結国会議（COP）は、1997年12月のCOP3において、歴史的な京都議定書を採択した。その後COPは、京都議定書の詳細な運用ルールの合意形成を目指して、毎年1回開催されており、政府関係者、IGO（内部政府組織）、NGO（非政府組織）、報道機関など多数の参加者が集結し、高い関心を集めている。

COPでは、各国の政府代表団が国益をかけて温暖化対策のためのルール作りに駆け引きを展開する。この温暖化交渉の会議は、限定された政府交渉団が行うものであり、非公開である。しかし、政府関係者以外の参加者は、補助機関会議や全体会議などの傍聴が許可され、会議の進捗状況や各国の主張を知ることができる。NGO（研究機関、産業、関係団体など）の参加者は、これらの公開会議の傍聴を行うとともに、政府代表団による交渉経過の説明会や参加者間の情報交換などを通して、交渉の進捗状況を掴むことができ、議論の成り行きを見守る。さらに、NGOは、国連の許可を得て、ワークショップの開催や展示ブースの設置により、温暖化対策への熱意をアピールすることができる。当所は、わが国の代表的なエネルギー産業の中央研究機関として、情報収集のためにCOP1から参加し、COP3以降は、ワークショップの開催と展示ブースの設置を行い、電気事業が関与する温暖化対策に関する研究成果の発表活動を行って

きた。

当所のワークショップでは、地球温暖化防止に向けて、CO<sub>2</sub>削減のための研究開発と国際協力について具体的な研究成果の発表を行った。アジアにおける気候変動予測と対策、電力化が気候変動緩和に及ぼす影響、クリーンコールテクノロジーの温暖化対策に果たす役割、火力発電所副製品利用によるCO<sub>2</sub>削減国際プロジェクトの提案など最新の研究成果を発表し、わが国の電気事業が採りうる温暖化対策の選択肢拡大と国際協力の重要性をアピールした。また、当所のワークショップにおいて、COP3では関西電力、COP4では電気事業連合会と豪州連邦産業科学研究所、COP5では中部電力、COP6では中国清華大学教授を招き、それぞれの立場から温暖化対策に関する講演を依頼して、好評であった。さらに、COPの会場で、当所の研究成果を発表するための展示ブースを設置して、温暖化に関する最新の研究成果を紹介した。特に、COP用に作成した論文集を中心に配布し、世界各国からの参加者に研究成果を発信した。

温暖化対策のためのルール作りの交渉は、限られた政府交渉団に委ねられているが、近年、交渉経過に敏感な反応を示すNGOの行動が益々重要な役割を担いつつある。当所も、COPの場などを通して研究成果や主張をアピールすることにより、温暖化防止対策の立案に貢献していきたい。



図1 COP5の本会議場

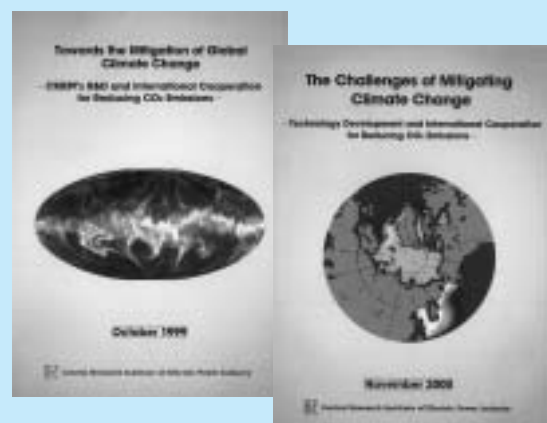


図2 展示ブース等で配布した地球温暖化に関する当所の最新の研究論文集

## コラム2：IPCC 第三次評価書の概要

気候変動に関する政府間パネル IPCC (Inter governmental Panel on Climate Change) は、1991年から5年毎に、地球温暖化問題に関する評価書 (Assessment Report) を発表している。2001年夏には第三次評価書が公表され、一般に購読可能である。この第三次評価書は3分冊からなり、第1～第3作業部会がそれぞれ「温暖化の科学的根拠 (The Scientific Basis)」、「影響、適応および脆弱性 (Impact, Adaptation and Vulnerability)」、「温暖化対策 (Mitigation)」について取りまとめている。3分冊とも1000ページに近いボリュームをもつ大作であり、政策立案者に向けた要約版 SPM (Summary for Policymaker) が作成されている。この要約版は、IPCCのホームページ (参考文献参照) からダウンロードして精読可能である。

### これまで観測された気候変化

温暖化の科学的な根拠を取りまとめた第1作業部会の要約版 SPMにおいて、過去の観測データから地球環境への人為影響を詳細に分析した結果が紹介されている。表1にその一部を抜粋して示す。

例えば、現在の大気中CO<sub>2</sub>濃度は、産業革命以前の濃度280ppm (ppmは体積濃度で0.028%) から年々増加し、現在の濃度は約368ppmとなっている。ちなみに、過去20年間の増加率は平均1.5ppmである。こうしたCO<sub>2</sub>などの温室効果ガスの増加により、1861年～2000年の140年間において、全球平均地表気温が0.6±0.2 上昇した。また、20世紀の北半球では、熱帯域、中・高緯度域とも降水量が増加したが、亜熱帯 (北緯10度～30度) では降水量が逆に減少している。これらの観測事実から、IPCCでは人間活動が気候変化の原因とする根拠が強まったことを指摘している。

### 気候予測モデルの検証

第三次評価書の非常に大きな特徴は、気候モデルによる20世紀の気温上昇の再現計算が実施されたことである。複数の研究機関が最新の気候モデル (大気・海洋結合モデル) を用いて過去の気温上昇の再現計算を試みており、予測の検証プロセスがより厳密になったことがこれまでの第一次～第二次評価書に比べたときの大きな前進である。

表1 観測された地球環境変化

出典：IPCC第1作業部会要約版SPM (2001) より抜粋

観測項目	内 容
CO <sub>2</sub> 大気濃度	280±6ppm (1000年～1750年) 現在368ppm 過去20年間の平均増加率1.5ppm/年
CH <sub>4</sub> 大気濃度	700±60ppb (1000年～1750年) 現在1760ppb
N <sub>2</sub> O大気濃度	270±10ppb (1000年～1750年) 現在316ppb
全球平均地表気温	+0.6±0.2 上昇 (1861年～2000年) 海洋より陸地部分の上昇が大きい
北半球の気温	20世紀は過去1000年間で、どの世紀よりも気温上昇が大 (確実性大)
1日の気温変化	日変化幅 (日較差) が縮小。夜間の最低気温の上昇は、日中の最高気温上昇分の約2倍
全球平均海面水位	潮位計の記録：+10～20cm (1861年～2000年) 地域により異なる
河川・湖沼の氷結	北半球の中～高緯度では、氷結期間が約2週間短縮 (確実性かなり大)
北極の海水面積と厚み	1950年以来面積10～15%減少、夏季の海水厚さは40%減少
極地以外の氷河	広範囲に後退
永久凍土	融解進む
大陸での降水量	20世紀において、北半球の中緯度～高緯度地域では10年間に0.5～1%の割合で増加。ただし、亜熱帯 (北緯10度～30度) では10年間に0.3%の割合で減少。熱帯域 (赤道～南北10度) では10年間に0.2～0.3%の割合で増加。南半球は海洋面積が大きいこと、データ数が少ないことから傾向は不明瞭
エルニーニョ現象	過去100年間と比較し、1970年代中ごろから、エルニーニョの頻度増加、持続期間延長、規模拡大



この点については、3-1章で詳しく紹介する。

### 将来の気候変化の予測

第三次評価書では、これまでの評価書とは異なり、21世紀の人口増加や経済発展などの差異を考慮した4種類のシナリオをベースに多数のシナリオを想定している。これはSRES (Special Report on Energy Scenario) シナリオとも呼ばれており、A1、A2、B1、B2の4つを基本シナリオとしている。各シナリオは世界各国の発展の違いを考慮した複雑な社会背景をベースにしているため、理解は容易でないが、ごく簡単に要約すると以下の通りである。

A1シナリオ：高成長シナリオ

A2シナリオ：多元化シナリオ

B1シナリオ：持続発展シナリオ

B2シナリオ：地域共存シナリオ

なお、A1の高成長シナリオでは、エネルギー技術の発展に3種類のコースを想定し、次の3つのシナリオに細分している。

A1FIシナリオ：化石燃料依存シナリオ

A1Tシナリオ：太陽光発電、燃料電池を普及させた高効率シナリオ

A1Bシナリオ：両者をバランスしたシナリオ

したがって、合計7つのシナリオを基本シナリオとして想定していることになる。

その結果、シナリオが多すぎて、スパコンを使用する複雑かつ高度な気候モデル（大気・海洋結合モデル）ではすべてを予測できず、簡単な手法で以下のような予測値を示している。

1990年～2100年の全球平均の地表気温上昇は1.4～5.8と予測される。最大の上昇値は、CO<sub>2</sub>排出量の最も多いA1FI（化石燃料依存）シナリ

オに対応している。ただし、寒冷化をもたらすイオウ酸化物発生量は、第二次評価書の時より下方修正した。

1990年～2100年の海面上昇は、0.09～0.88mと予測された。第二次評価書より下方修正されたのは南極の降雪量増加を考慮したためである。

### 異常気候

第三次評価書では、高度な大気・海洋結合モデルを使用しても台風等の異常気候（extreme climate）については信頼性の高い予測結果は得られていないと評価している。これについては、3-4節で詳しく説明する。そうした限界はあるものの、第2作業部会では、21世紀に予測される異常気候について、その確信度（原論文ではlikely, very likelyなどの表現）とともに表2のように取りまとめている。表では、単純な現象として、最高気温上昇、最低気温上昇、降水量の増加を挙げ、その社会におよぼす影響も検討している。さらに、複雑な現象として、乾燥・早魃の増加、台風の風速等の増大、アジアモンスーンの降水量変動幅の増大、中緯度地方のストームの増加を挙げ、それぞれに対する社会への様々な影響を評価している。

ただし、表2にある確信度は、要約版だけの評価尺度であり、米国科学アカデミーNSAでは、読者に誤解を招くとして批判している。また、IPCCの作業グループには政策関係者が参加しており、今後の科学的な中立性確保への懸念が示されている。地球温暖化問題についての各国の利害対立が一層厳しくなると予測されるので、IPCCの評価書といえども、科学的な検証が不足している予測結果は疑ってみるという態度が今後一層重要になる。

表2 将来の極端な気候現象（異常気候）とその影響

出典：IPCC第2作業部会概要版SPM（2001）より抜粋

21世紀に予測される 極端な気候現象の変化とその可能性 <sup>a</sup>	予測される影響の代表例 <sup>b</sup> (一部の地域においては発生の可能性が高いものを示す)
<b>単純な現象</b>	
ほとんど全ての陸地で最高気温上昇；夏日、熱波の増加（可能性大 <sup>a</sup> ）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高齢者グループや都市部貧困層で死亡や重病発生率増加</li> <li>・家畜や野生生物の熱ストレスが増加</li> <li>・多数の穀物への被害リスクの増加</li> <li>・冷房用電力需要の増加とエネルギー供給の信頼性低下</li> </ul>
ほとんど全ての陸地で最低気温上昇；冬日、降霜日、寒波の減少（可能性非常に大 <sup>a</sup> ）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・寒さに関連する人間の疾患や死亡率の低下</li> <li>・いくつかの作物では、被害リスク軽減、他ではリスク増大</li> <li>・一部の保菌生物や病原虫の生息範囲と活動の拡大</li> <li>・暖房用エネルギー需要の削減</li> </ul>
降水量の増加（多くの地域において可能性非常に大 <sup>a</sup> ）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洪水や土砂崩れ、雪崩、泥流の被害増大</li> <li>・土壌浸食の拡大</li> <li>・洪水による流量増加で一部の氾濫源帯水層の再注水が増加</li> <li>・政府や民間の洪水保険や天災救援システムの負担増</li> </ul>
<b>複雑な現象</b>	
中緯度地域の大陸内部の大半で、夏季の乾燥と、それともなう干ばつの可能性増大(可能性大 <sup>a</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作物の収穫率低下</li> <li>・地盤の縮みによる建築物土台への被害増大</li> <li>・水資源の質と量の低下</li> <li>・森林火災のリスク増大</li> </ul>
台風の最大風速、平均雨量、最大雨量の程度増大（可能性大 <sup>a</sup> 、一部の地域において）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人命損失、伝染病の流行、その他多くのリスクの増大</li> <li>・沿岸の浸食、海岸建築物およびインフラの被害増大</li> <li>・さんご礁、マングローブなど沿岸の生態系の被害増大</li> </ul>
多くの異なる地域でエルニーニョ現象に関する旱魃や洪水の増大（可能性大 <sup>a</sup> ）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・旱魃や洪水に弱い地域で、農耕地、放牧地の生産性が低下</li> <li>・旱魃に弱い地域では水力発電の可能性が低下</li> </ul>
アジアにおける夏季モンスーンの降水量の変動幅の増大（可能性大 <sup>a</sup> ）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アジアの温帯、熱帯域における洪水と旱魃の規模と被害の増大</li> </ul>
中緯度地域でのストームの強度増大（現在のモデルではあまり予測が一致していない）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人命や健康へのリスク増大</li> <li>・不動産やインフラの損失増大</li> <li>・沿岸生態系の被害増大</li> </ul>

a ここでの可能性は、第1作業部会で用いられる判断上の確信度を引用：可能性非常に大（確率は90-99%）、可能性大（確率は66-90%）、特に断らない限り気候現象の情報は第1作業部会の政策担当者向けの要約版SPMから引用。

b これらの影響は、適切な対応措置で緩和可能である。

## 1 - 2 当研究所の取り組み・スタンス

世界気象機関WMOの世界気候計画の開始（1979年）を皮切りに、国連主導の温暖化防止に向けた国際会議や気候変動枠組み条約の採択、気候変動に関する研究や情報収集など、世界的に、政治面、科学技術・研究面での様々な活動が活発化した。

わが国の電気事業から排出されるCO<sub>2</sub>の量は、国内の人為起源の1/4、世界全体の1%強を占める。その一方で、地球温暖化による気候変動は電気事業に対して、需要・供給はもちろん、設備の建設、保守・運転等に、多大かつ広範囲にわたる直接的・間接的影響を与えることが予想される。

電気事業は平成8年11月に「地球温暖化防止行動計画」を策定した。電気事業における温暖化対策の基本は、温暖化に関する科学的知見を踏まえ、電源のベストミックス、電力設備の効率向上、省エネルギー、低炭素排出・非化石エネルギー源の導入等の対策を推進することである。

当所は、既に、環境と調和する21世紀のエネルギー利用を目指す電気事業に資するために、全所大で、

原子力の信頼性向上

環境適合型石炭利用技術の開発

自然・再生可能エネルギー利用技術の開発

発・送・配電技術の効率向上

に関する研究を長期的・総合的視点で進めてきた。

電気事業が長期的かつ現実的課題として温暖化問題に適切に対処するためには、地球温暖化に関する種々の要因の因果関係や影響についての科学的な不確実性を取り除き、信頼できる気候予測情報に基づいて、一貫した温暖化の影響と対策の評価を行い、実行可能な方策や対策技術を選択する必要がある。

そのため、当所は、電気事業の「地球温暖化防止行動計画」への的確な取り組みや温暖化に適応する中長期的電力施設計画の策定が、より一層強力かつ効果的に進展することに科学的立場から貢献するために、「地球温暖化」を最重要課題と位置づけ、研究を総合的に推進することとした。

当所の温暖化研究のスタンスは、次の通りである。

- ・温暖化問題に対する電気事業経営における的確な意思決定に資するために、内外情報を含め最新の科学的知見・情報を提供すること
- ・地球温暖化に関する短期的課題と長期的課題に並行して取り組み、電気事業の温暖化問題への柔軟な対応に資すること
- ・電源のベストミックス、電力設備の効率向上、省エネルギー、エネルギー資源の低炭素化・非化石化、等による温暖化抑制効果を明らかにすると共に、これらの対策技術の導入促進に寄与すること
- ・温暖化防止・抑制技術の選択肢を拡大するためのメニュー（CO<sub>2</sub>削減技術や制度等）を整備・増強すること
- ・地球温暖化問題は広範・多岐に亘り、一個人・一機関での対応は不可能なため、国際協力・協調を念頭に、内外の研究ネットワークを確立し、有効に活用すること
- ・財団法人の学術研究機関として、国や民間の研究機関では対応が困難な課題に取り組み、科学や技術の発展に寄与するとともに、研究成果を社会に還元すること

このような状況下で、当所の推進課題『地球温暖化』では、電気事業の「行動計画」に示される自主的取り組み（原子力、熱効率の改善等）以外で、「地球温暖化」の理解と科学的解明を促進させるために、次を研究対象とした。

信頼度の高い科学情報の発信

- ・地球規模・地域規模の気候変化や台風の予測と評価
- ・人工衛星による地球環境の観測と解析・評価
- ・火力発電所からの温室効果気体（CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O）の排出実態の調査と評価
- ・森林等によるCO<sub>2</sub>吸収の評価

CO<sub>2</sub>排出削減技術の選択肢を拡大するための技術開発

- ・排ガスCO<sub>2</sub>回収・処分技術の評価
- ・大気中CO<sub>2</sub>固定・有効利用技術の評価
- ・排出抑制方策（京都議定書における京都メカニズム、税制度）への電気事業の対応策

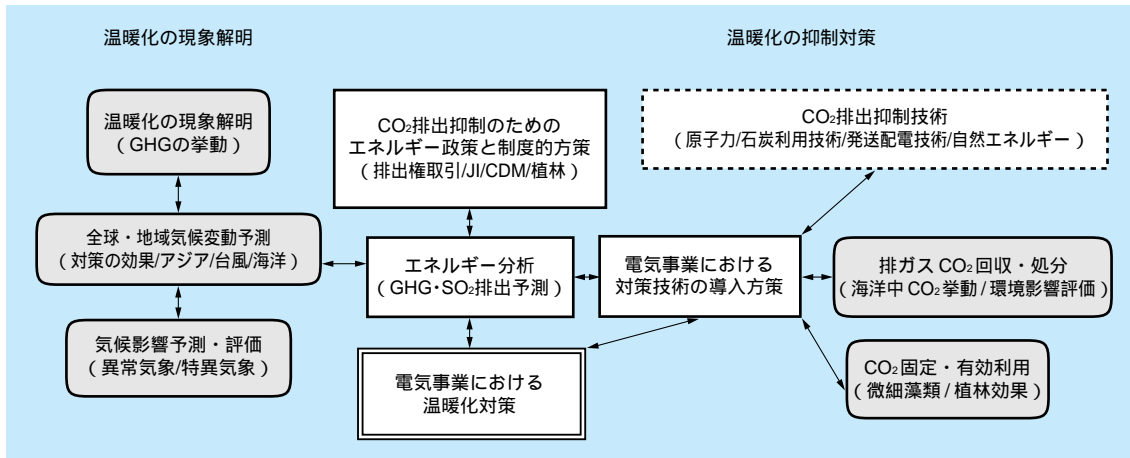


図 1-2-1 電中研の取り組み関連図

なお、当所の気候研究のスタンスは「気候モデルの開発」が主目的ではなく、エネルギー政策の評価や温暖化の影響評価のために、

ユーザーとして「(他機関で開発された信頼性の高い)気候モデル」を利用すること

ユーザーの立場でモデルの評価を行い、その過程で得られる学術的価値の高い研究成果の公表を通じて、気候モデルの高度化・信頼性向上に寄与すること

研究過程で得られる最新予測情報を社会や電気事業に発信すると共に、一般社会の啓発活動に活用すること

および、

これらの研究活動を通じて地球温暖化 気候変化問題の研究・分析・評価能力の向上を図ることである。

以下に、内外動向と対比させて、当所の温暖化研究の展開を概述する。

第1フェーズ(1987～92年)では、地球温暖化の問題認識と課題の探索を目標に、世界に先駆けてわが国が人工衛星による温室効果ガスの観測を行うIMGプロジェクトや将来の気候変化を予測する道具としての気候モデルの能力を評価する国際共同研究MECCAプログラムへの参加、さらに、温暖化が電気事業に与える影響に関するイベントツリー方式による定性的評価やEPRIとの共同研究など、国際的視点に立った研究推進を行った。また、排ガスCO<sub>2</sub>の回収・処分・固定化技術についての

実証研究や海洋中の植物プランクトンを介した炭素循環機構を解明するための新概念の構築も実施した。

なお、当所は、地球温暖化が国際的な地球環境問題としてクローズアップされる遥か以前の1983年に、地球環境問題としてのCO<sub>2</sub>問題とその影響に関する調査報告書をまとめている。

1988年に設置された「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」は、1990年に第一次、1995年に第二次、2001年に第三次の各評価報告書を取りまとめているが、このIPCC評価報告書がその時点の科学研究や政策研究のベースとなった。当所は内外の動向を把握しつつ、電気事業、国・社会の温暖化問題への対応に寄与すべく当所の多岐にわたる専門分野を活かした温暖化研究を推進すると共に、研究成果がIPCC報告書に引用されることを目標に、学術誌への積極的な投稿も行った。

第2フェーズ(1993～96年)では、第1フェーズの調査結果を踏まえ、「温暖化問題の科学的解明のためのツールの整備」を目標に、国際研究ネットワークを活用して温暖化問題の科学的解明のための研究手法の整備を進めた。すなわち、人工衛星による温室効果気体・地球環境・海洋環境の推定手法の開発、海洋における炭素循環機構解明のためのメソコスム実験、地域大気・海洋モデルや台風モデルの開発、排ガスCO<sub>2</sub>回収技術および海洋処分技術の手法開発のための実験と評価、クロレラ培養等の排ガスCO<sub>2</sub>固定・資源化技術の実証実験など、である。これらの実行によって、温暖化研究の基盤が整備・強化され、温暖化問題に科学的側面で寄与する総合研究機関として、国際的に認知されるようになった。ま

た、当所が問題提起した「温暖化問題は20世紀工業文明における典型的なトリレンマ問題である」とした考え方が広く国際社会の共感を呼び、自然科学と社会科学を融合させた総合研究を世界的に加速させる切っ掛けとなった。

第3フェーズ(1997～2000年)では、「科学的ツールの応用と総合化」を目標に掲げ、米国大気研究センター(NCAR)との共同研究による気候研究の充実・強化、最新の気候研究ツールを活用して気候変化問題を解明する国際共同研究ACACIAプログラムの推進、排ガスCO<sub>2</sub>回収・海洋隔離技術や固定・資源化技術の技術的・経済的成立性の評価等、これまで蓄積された科学研究手法やデータを適用し、温暖化問題を総合的視点で捉える方向に研究を展開させた。

1994年に発効した温暖化防止のための国連気候変動枠組み条約の具体的ルール作りを行う締約国会議(COP)に、当所はNGOとしてCOP1から継続して参加してきた。京都議定書が採択された1997年のCOP3からはワークショップや展示によって研究成果を発表し、科学技術面から議定書発効に向けた情報発信を行うと

もに、温暖化研究に取り組む総合研究機関としての存在をアピールしてきた。

当所が電気事業や国・社会の温暖化問題に関する多様なニーズに的確に応えるために、これまで蓄積した研究ポテンシャルは次のように総括できる。

- 1) 温暖化抑制のための制度・政策(京都議定書・京都メカニズムなど)に関わる諸課題の分析・評価・提言
- 2) 人工衛星による温室効果ガスの推定技術や海洋環境の解析技術
- 3) 全球モデル、地域大気・海洋モデル、台風モデルによる気候変動予測とその影響、および気候安定化のためのCO<sub>2</sub>排出削減効果の評価
- 4) 大気中CO<sub>2</sub>濃度を増加させないための排ガスCO<sub>2</sub>回収・海洋隔離・地中処分技術の評価
- 5) 生物・バイオ技術(植林、微細藻類、海洋プランクトン、沿岸生態系など)によるCO<sub>2</sub>固定・資源化技術の評価

本当所レビューは、これらの研究成果を中心に取りまとめたものである。