

CO₂ 対策技術の動向

野口 嘉一¹⁾

1. はじめに

気候変動問題は、地球サミットとも呼ばれた1992年6月の国連環境開発会議(UNCED)をひとつの節目として着実に存在感を強めつつあり、もはや世界の国々がこの問題を無視できない状況にある。地球サミットでは、人類共通の問題として取り組むべきとの認識のもと、多くの国々により気候変動枠組み条約が署名され、その出発点としての意義は大きいものがある。しかし、より重要なことは今後の具体的な進め方や取組みである。その意味でも、UNCEDでCO₂をはじめとした温室効果ガスの排出抑制努力が求められるとともに、将来のフォローアップのための制度づくりが決められたことは重要である。

一方、国内における基本姿勢を示したものが、1990年10月に閣議決定された「地球温暖化防止行動計画」であり、ここでCO₂等の温室効果ガスの排出目標が定められている。このなかで、生産・エネルギー部門における対応策としては、エネルギーの利用・転換効率向上、CO₂無排出・低排出エネルギー源の導入等の推進および高度な省・新エネルギー技術、CO₂回収・固定技術等の開発促進が大きな柱となっている。

先の「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」報告では、科学的不確実性はあるものの、化石燃料の使用によるCO₂をはじめとした温室効果ガスの増加が気候変動の大きな要因であるとし、また、枠組み条約で温室効果ガス排出量の抑制努力を求めている。しかし、エネルギーの大部分を化石燃料に依存している現在、このままではCO₂排出抑制がきわめて困難であることも、また事実である。

ここでは、CO₂問題を中心に、その現状と対応策について概要を述べたい。

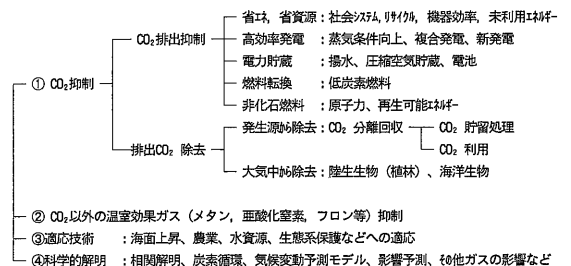
2. CO₂問題の現状認識

気候変動の問題は、従来の環境問題に比べ、その影響の空間的、時間的大きさとともに科学的に不確実な点が多いことが問題をより複雑にしている。また、技術的な対応の困難性やそれ以上に社会的・国際的な対応が重要であることも、この問題の難しさに拍車をかけている。ただ、共通の認識は、不確実さや難しさを理由に対応を遅らせることは影響をより深刻にする可能性があり、できるところから直ちに取組んでいくべきとのスタンス「不確実性のもとの政策決定」である。そのため、包括的かつ柔軟な対応が求められているところである。

第1図に気候変動問題に対応するための研究開発分野を示す。技術的な対応策としては、省エネを始めたCO₂排出抑制やCO₂除去・固定によるCO₂削減、CO₂以外の温室効果ガスの削減、気候変動に適応する技術、気候変動の科学的知見を充実させることなどである。これら技術的あるいは科学的アプローチとともに、現在の社会システム・プロセスを再考して省エネ・省資源型社会を構築することや国際的取組み・途上国等への技術協力的重要性など従来の環境問題にない面を有している。

2.1 科学的知見の充実の重要性

IPCCの3つの作業部会のうち第1部会が、気候



第1図 気候変動問題に対応するための研究開発分野
〔塚田(1992)等に基づく〕

1) 電源開発株式会社 技術開発部:

〒104 東京都中央区銀座6-15-1

キーワード: CO₂, 気候変動, 排出抑制, 対策技術

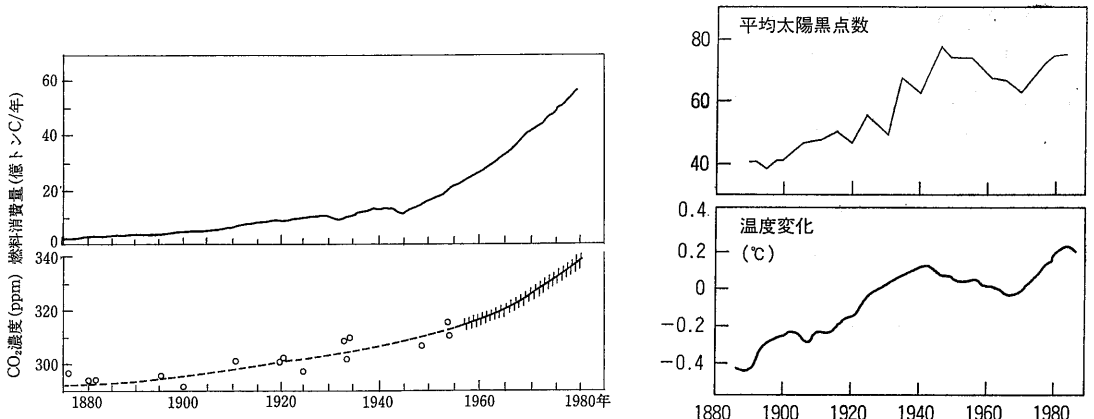
第1表 IPCC 第1部会中間報告の概要 (1990年5月) (霞が関地球温暖化問題研究会編・訳, 1991)

確信できる点	<ul style="list-style-type: none"> 人間活動に起因して、大気中の温室効果ガス濃度は増大。これによる温室効果は平均的には地球表面を1°C温める。 CO₂はこれまでまた将来も温室効果の半分以上を占めよう。 現在レベルに安定化させるには長寿命ガスで人間活動に伴う放出量の60%以上の削減が、メタンで15~20%削減が必要。
現状で予測できる点	<ul style="list-style-type: none"> 無規制シナリオ：平均温度上昇10年間に約0.3°C(0.2~0.5)、2025年約1°C、末世紀末約3°C上昇予測。海面水位10年間で約6cm(3~10)、2025年約20cm、末世紀末約65cm上昇予測。 陸上は海上より早く、北半球高緯度は平均を上回る上昇。 地域的变化は平均とは異なる。しかし、その予測信頼性は低い
不確実な点	<ul style="list-style-type: none"> いつ、どこで、どの程度気候が変化するかの予測には、多くの不確実さがもたらす。 温室効果ガスの排出と吸収、雲、海洋、極地の氷床については部分的に分かっており、将来、不確実さは低減されよう。しかし、気候系は複雑で予測せぬことが起こることは否定できない
判断できる点	<ul style="list-style-type: none"> 過去100年で平均0.3~0.6°C、その内最高5番目まで1980年代に記録。海面は10~20cm上昇。この結果は、気候モデルの予測と概ね合っているが、一方、気候の自然変動のパラッキとも同じ程度の大きさである。それらの寄与は不明。 軽微から、増大した温室効果ガスの影響を検知するには、更に10年間あるいはそれ以上待たねばならない。 最近20~30年間で気候変動が大きくなった明確な証拠はない。 生態系は気候に影響を与えとともに、影響を受けるだろう。
予測能力を改善するために必要な点	<ul style="list-style-type: none"> 気候に関する諸過程、特に雲、海洋、炭素循環 地球規模での観測体制の強化、過去の気候変化を更に研究 気候モデルの改良 気候研究活動の援助増大、特に発展途上国 気候情報の国際的交換の促進

変動の科学的評価を行っている。第1表に、1990年5月に公表された第1作業部会の報告概要を示す。ここでは、最新のデータや予測モデルに基づき将来予測がなされ気候変動問題の影響の重要性が強調されているが、同時に科学的知見の不確実性も示されている。その後、1992年2月に補足報告を行っているが、科学的不確実性は深まったように感じられる。また、気候変動要因について、温室効果ガスの他に太陽活動の影響やエルニーニョなど自然要因の寄与も指摘されており、議論をより複雑なものとしている。第2図に、化石燃料消費量と大気中CO₂濃度および太陽活動を表す太陽黒点と温度変

化を示す。化石燃料消費により大気中CO₂濃度は着実に増加しているが、単純に大気中CO₂濃度の上昇と大気温度の上昇との相関をいえないことがわかる。このため、より一層の科学的知見の充実が求められており、第2表に示すような国際研究プログラムが活発化してきている。これらのプログラムでは、世界気象機関(WMO)、国連環境計画(UNEP)、国際学術連合(ICSU)が大きな役割を果たしており、プログラムとしては「世界気候研究計画(WCRP)」、「地球圏・生物圏国際協同研究計画(IGBP)」、「地球気候観測システム(GCOS)」が注目される。一方、各国とも気候変動問題の高まりを背景に、気候・環境に関する科学的調査研究を推進してゆく姿勢を見せている。第3図に、主要国の科学的調査研究の政府予算の比較を示す。数値については、国により内容、方法等に差異があるため、単純比較は難しいため、おおよその指標として見ていただきたい。

研究予算において、群を抜いているのは米国であり、このことは、米国が気候変動問題において科学的知見の充実に重点をおいていることを示すものといえる。米国は、関係省庁からなる地球科学委員会(CES)が中心となり「地球環境調査計画プログラム」を進めており、研究分野は、①気候および水圏、②生物・地球化学ダイナミクス、③生態系ダイナミクス、④地球系の歴史、⑤人間活動の影響、⑥地表プロセス、⑦太陽活動の影響に区分されている。研究の重点は局地的な環境問題から地球規模の問題へ移行しており、そのため宇宙関係の予算が伸



第2図 化石燃料消費量とCO₂濃度の関係と太陽黒点変化と大気温度変化の関係 (経済企画庁総合計画局, 1992; The George C. Marshall Institute, 1989)

第2表 気候変動研究に関する主な国際研究プログラム (新エネルギー・産業技術総合開発機構, 電源開発株式会社1992)

プログラム名	国際機関	期間	目的
地球環境観測システム	UNEP	1974年～	地球環境観測
地球資源情報データベース	UNEP	1985年～	地球資源に関するデータベース
人間と生物圏 (MAB)	UN	1971年～	生態系への人間のインパクト
世界オゾン計画	WMO, UNEP, NOAA, NASA	1984年～	大気中オゾン濃度の記録
国際岩石圏計画 (ILP)	ICSU	1981年～	岩石圏の生成、変化、開発
海洋棚削計画 (ODP)	国際コソワム	1984年～	深海掘削による海洋盆と大陸縁辺における気候の歴史研究
グリーンランド 海氷プロジェクト	北極海科学局	1987年～	グリーンランド 海における海水と海洋のダイナミクス
【世界気候調査計画 (WCRP)】			
国際衛星雲気候学 (ISCC)	WMO, ICSU	1981年～	放射バランスと雲の特性
熱帯海洋と気候変動計画 (TOGA)	WMO, ICSU, NSF, NOAA	1985年～	特に熱帯水域における気候変動条件の可変性
世界海洋循環実験 (WOCE)	WMO, ICSU, IOC, NSF, NASA, NOAA	1990年～	気候予測のための海洋流動の地球規模観察
地球エネルギーと水サイクル実験 (GEWEX)	WMO, ICSU	計画中	地球規模の水とエネルギーサイクルの関係
【国際地圏・生物圏計画 (IGBP)】			
地球海洋流動研究 (JGOFS)	SCOR	1989年～	海洋での生命維持物質の生成と変動の測定
国際地球大気化学計画 (IGAC)	IUGG, IAMAP, CACCG	確定	大気化学と地球表面の相関
古地球変動 (PAGES)	ICSU	確定	2,000年から200,000年スケールでの地球変動の測定

閣僚会議申合)」や「地球科学技術に関する研究開発基本計画(1990年8月, 内閣総理大臣決定)」等を踏まえ総合的に研究を進めるとしている。その際、WCRP, IGBP等の国際協同プログラムに積極的に参画, 交流を図るとともに, 特にアジア・太平洋地域を重点に拠点, 体制等の充実, データ等の共有化, 研究者育成を図るとしている。欧州諸国についても, 日本と同様に国際プログラムや欧州プログラムとの連携をとりつつ, 国内の調査プログラムを進めている。

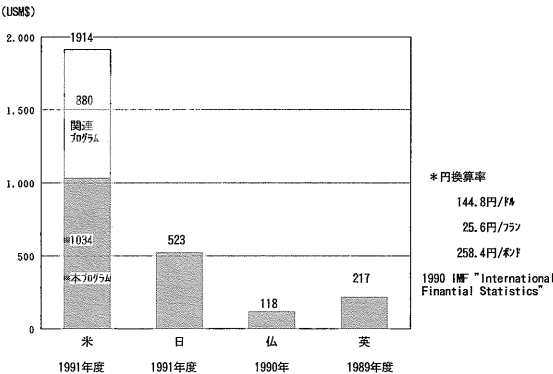
このように, 気候変動の問題解決には科学的知見の充実が急務であり, 今後, 国際的な協力, 連携の強化が必要であり, 日本の特にアジア・太平洋地域における役割は重要である。

2.2 CO₂ 排出抑制の難しさ

気候変動問題特にCO₂問題が従来の環境問題と本質的に異なるのは, CO₂が化石燃料の使用により必然的に発生するため, エネルギー・資源問題そのものという点にある。このような視点からCO₂問題を考えれば, CO₂排出抑制の難しさが再認識される。その主な理由として, ①化石燃料依存のエネルギー供給構造の現状, ②非化石燃料エネルギーの脆弱性, ③低炭素燃料への転換の限界, ④排出されるCO₂を除去・固定することの難しさの4つがあげられる。

1) 化石燃料依存のエネルギー供給構造

第3表に, 現在の世界と日本のエネルギー供給構造を示す。1973年の石油危機以降先進国を中心に石油代替エネルギーへの依存度を高めており, OECD諸国の一次エネルギーに占める化石燃料依存度は1973年の93.1%から1990年は86.6%に低下している。これは, 主に原子力の伸びによる。しかし, 現状でもおよそ9割を化石燃料に依存していることに変わりなく, 現在社会の基盤となっている



第3図 主要国政府の地球環境プログラム予算比較 (科学的調査研究等) (新エネルギー・産業技術総合開発機構, 電源開発株式会社, 1992)

びている。また, CESの他にWCRPに関連する国家気候計画(NCP), IGBPに関連する気候変動委員会(CGC)からなる合同委員会が組織されている。

日本においても, 「地球温暖化防止行動計画」において, 講ずべき対策として, 「科学的調査研究, 観測・監視の推進」を大きく扱っており, 「地球環境保全調査研究等総合推進計画(1991年6月, 関係

第3表 世界と日本の一次エネルギーおよび発電電力量の構成比(%) (OECD, 1991; World Bank, 1992)

	石油	石炭	ガス	原子力	水力他	化石燃料比
世界	38.6	27.3	21.6	5.7	6.7	87.6
世界	11.4	39.0	12.5	17.1	19.9	63.0
日本	58.3	16.6	10.1	9.4	5.6	85.0
日本	32.0	14.7	18.7	23.1	11.5	65.4

このエネルギー構造を変えることつまり化石燃料消費量を抑制することの難しさを示すに十分である。また、より重要なことは、一人当たりのCO₂排出量が先進国の約1/8の発展途上国が今後の人口増加のもとで発展してゆくためにエネルギー消費の増大は避けられないことであり、また、その多くを化石燃料に依存せざるを得ないと考えられることである。

2) 非化石燃料エネルギーの脆弱性

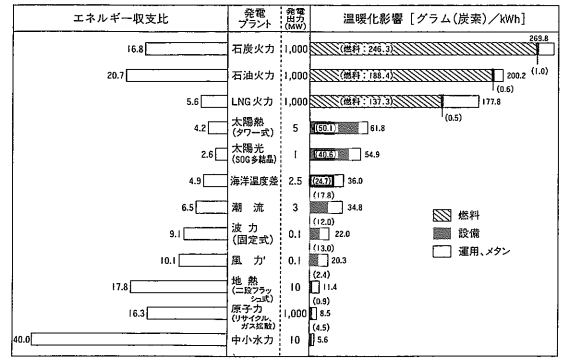
非化石燃料エネルギー-具体的にいえば、原子力、水力・太陽光・風力等の自然エネルギーは、CO₂無排出エネルギーである。このうち、原子力と水力エネルギーは、第3表の通り一次エネルギーの約12%、電力の約37%を占めている。環境問題を踏まえエネルギー供給制約に対処するため、これらエネルギー導入を積極的に計画している国々もあるが、原子力や大規模水力開発を巡る情勢は厳しいものもある。そのため、社会的容認を得つつ導入・開発する必要があり、現在の化石燃料依存を急激に低下できる状況にないように見える。

また、太陽光・風力・バイオマス等の新エネルギーは、現状コストや大規模電源としての適用性を考慮すれば、すぐにはエネルギー供給の中心に位置づけるのは困難である。しかし、分散型電源あるいは発展途上国への導入など、今後より一層の導入努力を図りつつ、コスト低減のための技術開発を推進すべきである。

一方、各エネルギーの温室効果への影響を評価する指標として、燃焼に伴うCO₂排出のみで評価するのではなく、建設・運用に伴うエネルギー消費によるCO₂排出、燃料の採掘から燃焼までトータルとしてのメタンも含めた温室効果ガス排出にて評価を行うべきとの見方がある。このような視点から、各エネルギーの温室効果の影響を試算した一例を、第4図に示す。重要な指摘であり、今後更に検討すべきである。

3) 低炭素燃料への転換の限界

単位熱量当たりのCO₂排出量は、天然ガス、石油、石炭の順に大きくなる。そのため、CO₂排出量の大きい石炭から天然ガスへの燃料転換により、CO₂抑制を図ることができる。しかし、化石燃料の資源量(可採埋蔵量 R/P : R=確認可採埋蔵量, P=年生産量)は、BP あるいは世界エネルギー会議統計によれば、石油43年、天然ガス58年、石炭421



第4図 発電プラントのエネルギー収支と温暖化影響の試算例(内山, 1992)

年であり、石炭の埋蔵量の豊かさ、安定供給性、経済性を考えると、将来、現在以上にその重要性は大きくなると考えられている。従って、低炭素燃料への過度な転換は貴重な資源である石油や天然ガスの資源枯渇を早めるとともに、それらの価格をいたずらに変動させる要因にもなる。また、現状のように気候変動問題の不確実性が高い段階では優先度の小さい対応策と考えるべきであろう。むしろ考えるべきことは、有限であるこれら天然資源を有効に利用すること、更にいえば、天然ガスの採掘・輸送あるいは石炭採掘に伴い漏洩するメタンの抑制また今後開発されるであろう天然ガスはガス中のCO₂含有量が大きくなると予想され、その天然ガスに随伴するCO₂の対策などである。

4) CO₂除去・固定の難しさ

CO₂がSO_xなどの従来の汚染物質と異なるのは、それ自体通常では有害でないことと、発生量が非常に大きいことである。このうち、CO₂の除去・固定で問題となるのは発生量つまり処理量の大きさである。第4表に、石炭火力における排煙処理に伴うエネルギーとコストの一例を示す。例えば、SO_x除去のために、発電電力の2~3%を使い、そのためのコストは約10%とかなり大きなものとなっている。これら脱硫・脱硝技術は、日本の最新の発電所では一般に採用されているが、世界的に見れば欧米の一部を除き主に経済負担のため実施されていないのが現状であり、東欧や中国など途上国ではこれら酸性雨対策がより優先されるべき課題となっている。

一方、CO₂発生量は通常の石炭燃焼ではSO_x発生量の100倍以上であり、その大きさから技術的課

第4表 日本における石炭火力の排煙処理技術の現状

	方式	処理前 (ppm)	処理後 (ppm)	所内率(%)	建設費(%)
SOx	石灰石石膏法	~1,000	50~100	2~3	10
NOx	接触還元法	~200	~40	0.2	3
CO ₂	?	~140,000	?	?	?

注) 所要エネルギー、建設コストは処理容量により、また排出基準も地点で異なるため上記値は参考程度。
SOxは石灰石硫黄分1.2%、NOxは最新の燃焼技術を採用。

第5表 CO₂ 固定化コストの試算例(瀬間, 1991)

	発電コストの増加 (%)		
	回収・液化	処理貯留	計
LNG火力	40~60	10	50~70
石油火力	70~105	15	85~120
石炭火力	110~170	20	130~190

注) 電力中央研究所試算。試算条件は、化学吸収法、液化、深海底貯留、CO₂回収率90%。
ベースとなる発電コストは、kWh 当たりLNG 11円、石油10.5円、石炭10円。

題よりはそれ以上に所要エネルギー、経済的課題が大きい。第5表に、CO₂を除去・液化して海中に処理する方法でのコスト試算例を示すが、大きな所要エネルギーと大きなコスト上昇を伴うことがわかり、現状では適用は非常に困難といわざるを得ない。しかし、CO₂除去・固定はCO₂を直接抑制できる方法であり、今後とも重要な対応策の一つである。そのため、エネルギーとコストが低く、かつCO₂を大量利用できるプロセスを長期的に開発してゆくことが重要である。また、将来のエネルギー事情等を考えると石炭を対象にしたCO₂除去・固定技術の確立が望まれる。

また、意味合いは異なるが、熱帯林の減少によるCO₂排出量は全体の2~3割と推定されており、焼畑などの対策とともに熱帯での植林は多量のCO₂吸収源として有効である。実際は、その地域各々の問題をかかえていると思われ、環境保護スワップの例に見られるようなきめ細かい国際協力のもとで進めてゆく必要がある。

このように、CO₂排出抑制の難しさが再認識されるなかで取り組むべきことは、CO₂問題がエネルギー・資源問題と密接に関連するとの視点から、各エネルギーの特長を生かしたバランスのとれたエネルギー構成、それ自体有益な対策であるエネルギー効率向上・省エネ・省資源あるいは植林を国際的に推進することである。それと同時に将来への対応のた

めの非化石燃料エネルギー・CO₂固定のための技術開発を加速する必要がある。また、気候変動のように百年単位で考えていかなければならない問題に対し、エネルギー問題も長期的視野に立った戦略が求められているといえよう。

3. CO₂ 排出抑制技術開発の現状

1990年度における国内のCO₂排出量は、3億1,600万トン(炭素換算)である。そのうち、エネルギー消費によるCO₂排出は2億9,200万トンで、このうち約3割を占める電力分野での排出を各部門に転嫁すれば、産業部門が約半分の48%、民生は約23%、運輸は約19%となる。なお、産業部門に比べ民生、運輸の伸びが高い。また、エネルギー消費以外の排出量は1,270万トンで、石灰石の分解や廃棄物焼却によるものである。世界のCO₂排出量は1988年で58.9億トン(炭素換算)であり、日本はその約5%を占めている。また、これまでOECD諸国が半分を占めていたが、今後は途上国の割合が増加すると予測されている。

CO₂抑制技術には、第1図に示したようにいくつかの対策があるが、IPCC(エネルギーと産業サブグループ:EIS)でも対応策について、第6表の通り勧告している。ここでは、エネルギーへの転換と産業分野における対応策を短期と中・長期に分け、①エネルギーの生産、転換、利用における効率向上、②非化石および低炭素排出エネルギー、③温室効果ガスの除去、固定の具体的対策例を示している。

ここでは特に重要と思われるエネルギー効率向上とCO₂固定技術を中心に、主に発電、産業部門について述べてい。

3.1 エネルギー効率向上

1973年の石油危機によるエネルギー価格の高騰により、国内のエネルギー多消費型産業の省エネルギー対策は大きな進展を見せ、諸外国に比較しても、そのエネルギー原単位は低い水準にある。第7表に国内の主な産業のこれまでの取り組み状況を示すが、現在、技術面からみた省エネルギー対策は高水準にあり、今後、飛躍的な進展は望めない状況である。従って、今後、更なる効率向上への技術開発に努めるとともに、社会システム・社会制度面での

第6表 温室効果ガス排出抑制策(エネルギーと産業サブグループ報告)(地球産業文化研究所編・訳, 1991)

短期オプション (2005年前後に導入可能あるいは実証されるもの)				中長期オプション (2005年以降に導入可能あるいは研究開発されるもの)			
[1] エネルギーの生産、転換、利用における効率向上							
発電	産業	輸送	建築物	発電	産業	輸送	建築物
<ul style="list-style-type: none"> ○発電効率の向上 <ul style="list-style-type: none"> ・既存設備高効率化 ・石炭ガス化複合発電の導入 ・常圧流動床燃焼技術の導入 ・加圧流動床複合発電の導入 ・ボイラ効率向上 ○コージェネレーションシステム改善 ○運転、メンテナンスの改善 ○太陽電池導入(特に地域電力) ○燃料電池導入 	<ul style="list-style-type: none"> ○一層の生産プロセス効率の促進 ○材料リサイクル(特にエネルギー集約度の高い材料) ○エネルギー集約の低い材料への代替 ○電気機器、モーターの改善 ○エネルギーカスケード、コージェネレーションを含む熱プロセス 	<ul style="list-style-type: none"> ○路上車両の効率の改善 ○公共輸送部門の技術開発 ○運転者の行動、交通管理、車両メンテナンス 	<ul style="list-style-type: none"> ○冷暖房システムの改善 ○家屋、建物の空調効率の改善 ○照明効率の改善 ○家電機器効率向上 ○操作、メンテナンスの改善 ○調理器の効率改善(途上国) 	<ul style="list-style-type: none"> ○断続的エネルギー貯蔵技術向上 ○改良型蓄電池 ○圧縮空気エネルギー貯蔵(CAES) ○超電導エネルギー貯蔵(SMES) 	<ul style="list-style-type: none"> ○エネルギー集約度の低い材料の使用の増加 ○改良プロセス技術 ○プロセスでのバイオ技術利用 ○局所的なプロセスエネルギー転換 ○燃料電池のコージェネレーションへの利用 	<ul style="list-style-type: none"> ○路上走行車両の効率の改善 ○航空機と船舶の設計改善 	<ul style="list-style-type: none"> ○エネルギー貯蔵システムの改善 ○ビルシステムの改善 ○冷蔵庫を使用しない新しい食品保管システム
[2] 非化石および低炭素放出エネルギーへの転換							
発電	その他			発電	その他		
<ul style="list-style-type: none"> ○小規模、大規模水力の建設 ○従来型原子力の拡大 ○ガス火力の建設 ○経済性、安全性向上のための原子力発電の標準化 ○地熱発電の開発 ○風力発電の導入 ○持続的バイオマスの拡大 ○脱硫装置他エネルギー多消費型処理技術エネルギーの高効率化 	<ul style="list-style-type: none"> ○石油、石炭から天然ガス、バイオマスへの代替 ○太陽熱暖房 ○代替燃料生産と利用技術 <ul style="list-style-type: none"> ・天然ガスの貯蔵燃焼システム ・フレキシブル燃料車およびアルコール燃料車の導入 			<ul style="list-style-type: none"> ○原子力発電所 <ul style="list-style-type: none"> ・信頼性およびPA改善を目的とした受動的安全性 ○太陽エネルギー技術 <ul style="list-style-type: none"> ・太陽熱発電 ・太陽光発電(特に分散型電源) ○改良型燃料電池 	<ul style="list-style-type: none"> ○代替燃料生産、利用を目的としたその他の技術 <ul style="list-style-type: none"> ・水素用改良型貯蔵・燃焼システム ・水素吸蔵合金の性能の改善 ・木質—セルロース系バイオマスのアルコール燃料への高効率変換プロセス ・電気およびハイブリッド自動車の導入 ・改良型蓄電池の充電時間の短縮 		
[3] 温室効果ガスの除去、固定							
エネルギー / 産業		埋立地		<ul style="list-style-type: none"> ○亜酸化窒素排出低減のための燃焼状態の改善 ○亜酸化窒素排出低減のための排ガス処理 ○CO₂除去、CO₂分離と地中および海中処分 			
<ul style="list-style-type: none"> ○化石燃料貯蔵、石炭採掘漏洩、放出メタン回収、利用 ○天然ガスの生産、輸送でのメタン漏洩防止のためのメンテナンスの改善 ○温室効果ガスシンのためのCO、SOx、NOx、炭化水素類の排出抑制の改善 		<ul style="list-style-type: none"> ○メタン排出抑制のための廃棄物リサイクル焼却 ○排出メタンのフレア燃焼の導入 ○メタン排出を減少させるための埋立地の維持管理方策の改善 					

第7表 国内のエネルギー多消費産業におけるこれまでの取組み状況〔日本開発銀行(1991)、岡谷・橋本(1991)等に基づく〕

業種	省エネルギーの状況	主な省エネルギー対策(普及率%)	問題点	今後の対策と課題(普及率%)
鉄鋼	<ul style="list-style-type: none"> 粗鋼トシ当たり 73→88年度 ▲20% 国際比較 (1988年 日本=100) 日本 100 米国 140 イタリア 126 英国 117 フランス 115 	<ul style="list-style-type: none"> ①操業改善 <ul style="list-style-type: none"> 高炉操業安定化, 燃料比低減 燃料制御など ②生産工程の工程, 連続化 <ul style="list-style-type: none"> 連続鋳造 (87年度末93%) 連続焼鈍 直送圧延, 熱片装入 (50~60%) ③排エネルギー回収 <ul style="list-style-type: none"> コークス炉乾式消火(CDQ) (45%) 高炉炉頂圧発電(TRT) (69%) 転炉ガス回収 (90%以上) スクラップ予熱(電気炉) 	<ul style="list-style-type: none"> ①省エネルギー投資減少 (82→88年度 2,270→495億円) <ul style="list-style-type: none"> 投資抑制 エネルギー価格低下(投資効果低下) 省エネ投資案件の減少 ②エネルギー原単位の横這い傾向 <ul style="list-style-type: none"> 省エネ投資減少 高品質化によるエネルギー増加 ③所内エネルギー余剰(排熱回収向上難) 	<ul style="list-style-type: none"> ①より効率的な省エネ設備の導入 <ul style="list-style-type: none"> コークス炉調湿炭装置 (5%) スラグ顕熱回収装置 (0%) 乾式高炉炉頂圧発電 (13%) 密閉式転炉ガス回収 (2%) 直流式電気炉 (1%) ②排熱回収の推進 周辺産業や地域への供給等 ③次世代製鉄技術研究開発の推進 <ul style="list-style-type: none"> 溶融還元製鉄法 半凝固加工プロセス
電力	<ul style="list-style-type: none"> 発電効率(発電端, 9電力平均) 70→89年度 37.75→38.83% 国際比較(送電端, 1987年) 日本 36.7% 米国 31~31.6% 英国 33.5% フランス 33.0% 送配電損失率(9電力平均) 70→89年度 6.8→5.6% 国際比較(1987年) 日本 6.0% 米国 8.0~8.1% 英国 8.2% フランス 7.6% 	<ul style="list-style-type: none"> ①発電効率の向上 <ul style="list-style-type: none"> 大容量化 蒸気条件の向上 複合発電等の高効率発電技術の導入 発電機器の改良 ②送配電損失の低減 <ul style="list-style-type: none"> 電圧向上 省エネルギー型トランス ③その他 <ul style="list-style-type: none"> 電力融通等の広域運営 	<ul style="list-style-type: none"> ①省エネルギー投資効果低下 (エネルギー価格低下) ②エネルギー原単位の横這い傾向 	<ul style="list-style-type: none"> ①バランスのとれた電源ミックスの一層の推進 ②発電効率の一層の向上 <ul style="list-style-type: none"> 複合発電技術の技術開発, 導入 高効率発電技術の技術開発, 導入 ③送配電損失の一層の低減 <ul style="list-style-type: none"> 電圧向上 ④技術開発の推進 <ul style="list-style-type: none"> 高効率機器(ヒートポンプ等) 燃料電池 自然エネルギー 未利用エネルギー 電力貯蔵 CO₂固定化技術など ⑤その他 <ul style="list-style-type: none"> 立地の困難化, 遠隔化 負荷率の低下
石油精製	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ率 81→89年度 年率 約2% 	<ul style="list-style-type: none"> ①省エネルギー, 効率化 <ul style="list-style-type: none"> 加熱, 冷却伝熱の合理化 排熱回収 燃焼の改善, 合理化 副生ガス等利用 集中化 精製プロセス改善 自家発, 熱の利用 	<ul style="list-style-type: none"> ①省エネルギー投資減少 <ul style="list-style-type: none"> エネルギー価格低下(投資効果低下) 省エネ投資案件の減少 ②エネルギー原単位は上昇傾向(製品の多様化) 	<ul style="list-style-type: none"> ①省エネルギー, 効率化の一層の推進 <ul style="list-style-type: none"> 低位排熱回収, 利用 コ・ジェネの導入 精製プロセスの一層の推進 長期連続運転による省エネ 燃料電池(石油製品, 副生ガス利用の効率化)
セメント	<ul style="list-style-type: none"> セメント 70→88年度 ▲32% 国際比較 (1988年 日本=100) 日本 100 米国 156 フランス 138 韓国 103 	<ul style="list-style-type: none"> ①キルンの効率化 <ul style="list-style-type: none"> NSPへの転換 (89年度末89%) ②排熱回収 <ul style="list-style-type: none"> キルン, クリンカクーラー排熱 ③高効率ミルの導入 <ul style="list-style-type: none"> 堅型ミルへの転換 (89年度末12%) ④高炉スラグ, フライアッシュ利用による資源の有効利用 	<ul style="list-style-type: none"> ①省エネルギー投資減少 (79→88年 204→150億円) <ul style="list-style-type: none"> 技術的に限界にちかい 省エネによる経済性低下 ②エネルギー原単位は上昇傾向(製品の多様化) 	<ul style="list-style-type: none"> ①既存技術の最大限の適用(但し, 経済性は低下) <ul style="list-style-type: none"> 改良型バーナー 堅型ミル 排熱発電 ②新プロセスの開発 <ul style="list-style-type: none"> 流動床焼成方式

アプローチの重要性も認識されてこよう。また、第5図に示す石油価格と省エネルギー投資の推移からわかるように、これまでの省エネルギー対策は、高エネルギー価格を背景とした経済的インセンティブとそれに伴った省エネルギー技術の進展が大きな要因である。しかし、現在のような低エネルギー価格のもとでより高度の省エネルギー対策を行わせるためには、これまで以上の努力とともに、インセンティブをもたせる条件の整備が必要である。

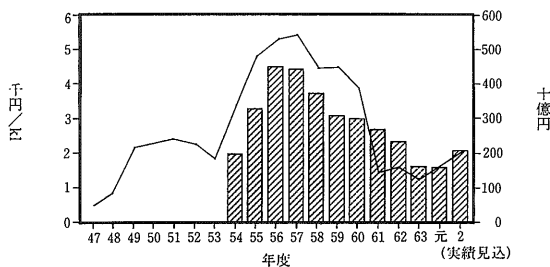
また、現在、技術開発されている発電部門における高効率技術の目標値を第8表に示すが、高度の技術が実用化されたとしても、それによるCO₂の削減量はおよそ1割程度に過ぎず、固定発生源等

でそれ以上のCO₂削減が求められるとすれば、CO₂固定といった技術を開発しておく必要が出てくる。

一方、世界的にみれば、省エネルギーの余地は大きい。国の事情等から単純な比較は難しいが、第7表でも示した通り、日本の産業は先進国のなかでも最も省エネルギーが進んでいる。このように、先進国でもかなり改善の余地があるが、それ以上に大きいのが東欧や途上国である。第9表に東欧と途上国における主な産業のエネルギー消費原単位を示すが、日本に比べそのエネルギー効率は非常に悪く、日本の省エネルギー技術をこれらの国々に移転することはCO₂抑制に大きな効果がある。そのための必要資金、有効な技術移転をどのように行うかなど実現には課題はあるものの、効果の高いより現実的な方法であることにはかわりない。

3.2 CO₂ 固定技術

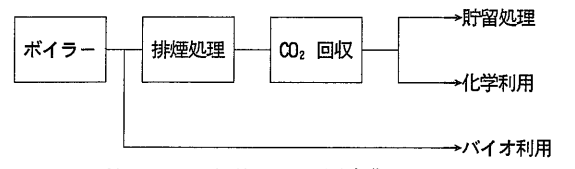
CO₂固定は、前述したとおり革新的な技術開発が必要である。そのために、処理量が大きく、必要エネルギーとコストの小さい方法が求められている。CO₂固定のフローを第6図に示すが、固定発生源等から発生するCO₂をまず回収し、この回収した高濃度CO₂を海中や地中に処理する方法あるいは化学原料として利用する方法、バイオ利用のように排ガスからそのまま固定する方法あるいは植林



第5図 石油価格と省エネルギー投資の推移
〔環境白書(4年度)〕(環境庁編, 1992)

第8表 高効率発電技術によるCO₂削減の可能性

LNG火力			石炭火力		
	CO ₂ 削減	実用時期		CO ₂ 削減	実用時期
超々臨界圧炉(USC)	4~8%	1990年代	超々臨界圧炉(USC)	約1~8%	1990年代
複合発電(1300℃)	8~9%	1990年代	加圧流動床複合発電(PFBC)	約10	2000年頃
複合発電(1500℃)	約14	2000年頃	石炭ガス化複合発電(IGCC)	約12	2010年頃
			高温型燃料電池	24以上	2010年~



第6図 一般的なCO₂固定化のフロー図

第9表 日本と東欧・途上国の主な産業のエネルギー消費原単位の比較〔経済企画庁総合計画局(1992)に基づく〕

	一人当たりのCO ₂ 排出量(1987年)(t-C/人)	製造業(原油換算ト/生産1000ト)			電力(原油換算ト/億Wh)			
		鉄	鋼	化学	窯業土石	石炭	石油	ガス
日本	2.1	160.7	1,985	80.1	21.5	20.2	19.2	
東欧	旧ソ連	3.4	442.5	10,493	369.3	30.9	35.9	37.0
	ポーランド	3.3	286.0	3,040	253.6	37.9	45.3	45.0
	ユーゴスラビア その他東欧		339.2 441.3	2,116 3,018	185.9 321.7	26.5 46.0	44.9 50.5	26.9 55.5
途上国	中国	0.5	670.6	24,622	231.8	27.2	23.9	26.1
	インド	0.2	467.0	22,273	113.1	29.2	35.8	100.3
	ブラジル	0.4	204.7	2,772	56.8	31.6	27.4	—
	韓国	1.2	313.6	2,213	197.2	23.7	22.1	23.3
備考	Energy Balances of OECD Countries	OECD「World Energy Statistics and Balances」、UN「Industrial Statistics Yearbook」、製造業の生産量は鉄鋼は銑鉄+合金鉄+粗鋼、化学はエフレ+プラスチック、窯業土石はセメントで1986年値。電力は1988年値。						

第10表 主なCO₂固定化技術の研究開発状況

技術	方法	概要	研究開発状況	研究開発レベル
CO ₂ 分離・回収技術	化学吸収	アミン系吸収液等により化学的に吸収させる方法。常圧ガス条件で適用できる。再生のため多量の蒸気が必要。	天然ガス、石油精製等で広く利用。米国テキサスで天然ガスからEOR用CO ₂ 回収1000t/D規模実績あり。但し、排ガス中不純物(SO _x , NO _x , ダスト等)による吸収液劣化があり、石油、石灰排ガスでは高度排ガス処理必要。他の排ガス分離回収法に比べて大容量に適する。	パイロット試験～ 実用化〔小規模〕
	物理吸収	加圧排ガス条件で吸収液にて物理的に吸収される方法。化学吸収法に比べ再生エネルギーが小さい。セレクトゾール法などが代表的。	加圧条件で利用されるため石灰ガス化ガスからの回収に適用可能。効率的CO ₂ 回収法との評価あり。石灰ガス化アンモニア合成プロセスでの実績あり。	パイロット試験～ 実用化〔小規模〕
	吸着	ゼオライト等固体吸着材による圧力あるいは温度スイング(PSA, TSA)による吸着、脱着で分離する方法。	製鉄所排ガス、ランドフィルガス中メタン回収用で実績あり。転炉ガスでの規模2万m ³ /h(新日鉄)。化学吸収法と同じで排ガス中不純物の影響があり、高度排ガス処理必要。中容量に適するとされている。	パイロット試験～ 実用化〔小規模〕
	膜分離	ガス透過率の差を利用した高分子膜により分離する方法。	EOR、バイオガス、ランドフィルガス用、天然ガスで実績あり。排ガス中不純物影響、回収率低い等の問題あり。小容量に適するとされている。	基礎研究～パイロット試験
	酸素(O ₂ /CO ₂)燃焼	排ガスからのCO ₂ 回収ではなく、酸素(O ₂ /CO ₂)燃焼によりCO ₂ 濃度を100%近くまで高め、そのまま回収する方法。	米国・アルゴンヌ国立研究所がEOR用CO ₂ 回収のため、微粉炭にてパイロット試験。排ガス中不純物の影響なしに回収できるため、石灰燃焼に適すると言われている。酸素富化燃焼、排塵処理簡略化の可能性あり。	パイロット試験～
CO ₂ 処理技術	海中	回収CO ₂ を液化あるいは固化して海中に処理する方法。深海3000m以下への投入で検討中。	大量処理に適している。技術的には可能であるが、深海での周辺環境への影響の評価が最優先課題。CO ₂ 挙動把握の基礎試験研究段階。	環境影響評価のための実海域試験が必要
	地中	回収CO ₂ をガス状で地中に投入する方法。枯渇した油田・ガス田、利用されることのない帯水層が検討されている。	大量処理に適している。技術的には可能であるが、日本では地下空洞、枯渇油田、ガス田等の容量に限られる。帯水層は容量的にも有望でインドネシア・ナツナ天然ガス(CO ₂ 72%含む)プロジェクトはCO ₂ 帯水層処理で計画中。	実証試験～実用化〔小規模〕
	原油増進回収	回収CO ₂ を液化し、産油国に輸送、それを石油増進回収(EOR)法に利用する方法。	大量処理に適している。生産性低い油田が多い米国等では実績多い。近傍にEOR対象油田があれば理想的、日本では容量、条件限られる。	実証試験～ 実用化〔但し、産油国対象〕
CO ₂ 固定技術	海洋生物	サンゴ、石灰藻等によりCO ₂ を炭酸カルシウムとして固定する方法。また、鉄を海域に散布し植物性プランクトンを増殖する方法も検討中。	高効率化が必須であり、最適種の選定や培養技術の高度化などバイオテクノロジー技術の高度化を研究所レベルで研究中。	基礎研究～パイロット試験
	植物	光合成によりCO ₂ を植物体として固定する方法(植林)。	植林は有効で確実な方法である。森林の吸収能力は6～10t-C/ha-年程度で、100万KW石灰火力で大阪府程度の面積が必要。	植林は実用
CO ₂ 利用技術	接触水素化	触媒によりCO ₂ とH ₂ を反応させ、アルコール類、炭化水素類等有用物質を合成させる方法。	技術的にはほぼ確率している方法であるが、水素を必要とするため、実用化には安価な水素の確保が前提となる。	基礎研究～パイロット試験
	光化学的	電気分解により直接溶液中のCO ₂ を還元し、アルコール類、炭化水素類等有用物質を合成させる方法。	光合成を工学的にモデル化、システム化するもので、現状は学問的興味で研究されているレベルであり、また大学等での基礎研究段階。	基礎研究
	(光)電気分解	光エネルギーを利用してCO ₂ とH ₂ Oから炭化水素類を合成する人工光合成システムによる方法。	水素を用いず電気、光エネルギーで直接、炭化水素等の合成を行うため、接触水素化法を簡略化した方法となるが、また大学等での基礎研究段階。	基礎研究
	微生物	光合成細菌等によりCO ₂ とH ₂ Oからアルコール類、炭化水素類等有用物質を合成させる方法。	高効率化が必要であり、最適種の選定や培養技術の高度化などバイオテクノロジー技術の向上化を研究所レベルで研究中。	基礎研究～パイロット試験
CO ₂ 分解技術	接触分解	活性化マグネタイト触媒とH ₂ によりCO ₂ をCに分解する方法。	宇宙空間での生命維持プロセスとして提案されたBosch反応に類似の反応原理であり、基礎研究段階。	基礎研究

のように大気中から固定する方法がある。それぞれの方法を、第10表に示す。CO₂を回収する方法には、スケールアップやコストの問題また将来ますます重要となる石炭からの回収技術の確立などの課題がある。しかし、CO₂を回収すること以上に問題となっているのが回収したCO₂をどのように処理あるいは固定するかである。このうち、化学的な利用は大量利用が難しく必要エネルギーが大きいこと、また、バイオ技術はまだ基礎研究の段階であることから、主に検討されているのは海中や地中への大量処理であり、植林とともにより現実的な方法と考えられる。

処理方法には、大きく海中と地中処理があり、そのうち地中処理には、枯渇ガス田、帯水層などの地中にCO₂を処理貯留する方法と原油増進回収法の一つであるCO₂注入法のようにCO₂を油田に注入し原油を回収する方法がある。国内においては、主に3,000 m以深の海中に処理する方法が検討されている。しかし、海中処理ではCO₂注入による酸性化の懸念から生態系への影響をどのように評価するかが大きな課題となっており、今後、多方面からの可能性評価を期待したい。一方、地中処理は、処理できる量の問題はあるものの、地中には多くのCO₂が存在すること、また、北米等を中心に原油増進回収法のために油田へのCO₂注入が行われていることから、技術的に大きな問題はないと考えられる。また、海中処理のようなCO₂の船輸送ではなく、パイプライン輸送が可能な場所においては、CO₂の液化や輸送に係わるエネルギーおよびコストの低減、そのうえ原油などエネルギー資源の回収が同時に行えれば、その効果は大きいものがある。国内においても地中処理の検討が積極的になされることを期待したい。

3.3 その他の新しい動き

地球規模での環境負荷の急速な増加の解消と将来の人口爆発、生産活動・エネルギー消費の増大に伴う南北間・世代間の環境資源の公正な配分を解決するためには、資源・エネルギー消費型社会から省エネ・省資源型社会へと転換すべき時期だという声が高い。つまり、技術的対応だけではなく、これまでのシステムを見直すべきとの動きである。エネルギー・産業分野での具体的な動きとしては、燃料電池等によるコ・ジェネレーションや排熱・廃棄物など

未利用エネルギー利用などの促進、また、電力分野では需要サイドの管理や指令で需要抑制・負荷平準化を行うデマンドサイドマネジメント(DSM)や地域共生型発電所などが注目されており、今後このような動きは加速されるであろう。

4. おわりに

気候変動は科学的に不確実な面が多く、これまでの環境問題に比べその複雑さ、影響の大きさを考えると、より柔軟で長期的な取組みが不可欠である。また、その問題がエネルギー・資源問題と密接な関係にあることから、その対応は容易なことではない。ただ、これら不確実性や対応の困難さを理由に、対策を遅らせることは、将来、問題をより深刻にする可能性があり、一刻も早い対応が必要である。そのためのスタートとしての地球サミットの意義は大きい、より重要なことは具体的な実行である。

このような状況で対応できることは、今できかつそれ自体有益な省エネ・省資源・エネルギーの効率向上、植林などを途上国も含め包括的に取組むことであり、それとともに、将来の選択枝を拡げるため、次世代技術、CO₂固定技術などの技術開発を促進することである。また、これら技術的なアプローチのほか、省資源・省エネ型社会システムの構築という社会的なアプローチが求められてもいる。また、不確実性を内包したままでは的確な対応ができるとは限らず、将来よりの確に対処するためには科学的な不確実性を減らす努力が重要である。

最後に、地球環境問題における地質分野の役割は、CO₂処理技術などの技術面とともに、地圏・水圏・人間圏などの地球システムの科学的側面への貢献が大いに期待され、地質学に係わる人たちの今後一層の活躍を望みたい。

文 献

- 地球産業文化研究所編・訳(1991): 温暖化への世界戦略。省エネルギーセンター, 266-268.
- 環境庁編(1992): 環境白書(平成4年度版)。209-212.
- 霞が関地球温暖化問題研究会編・訳(1991): IPCC地球温暖化レポート。中央法規, 4-8.
- 経済企画庁総合計画局(1992): 地球環境問題日本経済への提言。中央法規, 31-222.
- 日本開発銀行(1991): 省エネルギー型社会への課題, 調査。155,

- 51-104.
- OECD (1991): Energy Balances of OECD Countries, 1989-1990.
- 岡谷幸雄・橋本篤二(1991): 石油精製業における CO₂ 排出量削減可能性とそのコスト分析. エネルギー経済, 17, 7, 28-37.
- 瀬間 徹(1991): CO₂ の回収と貯留. OHM, 3月号, 44-47.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 電源開発株式会社(1992): 主要国政府の地球温暖化メカニズム解明事業等の動向調査. NEDO-ITE-9108, 26-27.
- The George C. Marshall Institute (1989): Scientific perspectives on the greenhouse problem.
- 塚田綱二(1992): 主要国における CO₂ 排出抑制技術の長期的開発動向. エネルギー経済, 18, 8, 2-19.
- 内山洋司(1992): CO₂ 削減に向けた発電プラントの技術開発. エネルギーフォーラム, 453, 39-43.
- World Bank (1992): World development report 1991.
-
- NOGUCHI Yoshikazu (1993): State of the art of CO₂ abatement and control technologies.
-

I GEOLIS(日本地質文献データベース)1991年版フロッピーディスク公開のお知らせ

地質調査所が1986年より構築しております上記データベースを、フロッピーディスクにより下記の要領で無償配布いたします。バックナンバーにつきましても同様の要領でお申込下さい。

記

期 間：1993年5月末日まで

データ内容：日本地質文献目録(1986-91年)
約44,000論文

申込方法：依頼文書(自由形式)による。

ただし、以下のものを同封して下さい。

- ・地質調査所ソフトウェア利用申請書(暫定)

(必ず自署して下さい。ただし、一度提出されている方は不用です)

- ・フロッピーディスク 5インチ 1986~1990年 1年分につき2枚
1991年 " 3枚

必要年数を明記し、必要枚数を同封して下さい。(MS-DOSでフォーマットした2HD)

- ・返信用切手貼付、返信先の住所・氏名を記入した返信用封筒(郵便用に限る)
- ・利用プログラムが必要な方はフロッピーディスクを1枚多く入れて下さい。

II 地質文献目録1983, 1984年版フロッピーディスク公開のお知らせ

1985年以前の地質文献目録からのフロッピーディスク版作成に取り組んでいます。このたび地質情報センター情報解析課・情報管理普及室の協力により、1983, 1984年版が完成いたしましたので、上記同様の方法でお申込下さい。ただし、フロッピーディスクは1年分につき1枚となります。

申 込 先：〒305 つくば市東 1-1-3

地質調査所 地質情報センター 資料情報課

問い合わせ先：資料情報課(担当 中沢)

参 考：地質ニュース420号(1989年8月号)