

日経BP 山口光恒の『地球温暖化 日本の戦略』 連載第 6 回

地球温暖化対策の究極目標[前編]

<http://premium.nikkeibp.co.jp/em/column/yamaguchi/12/index.shtml>

温暖化対策の大きな課題 反比例する危険度とコスト

2007年10月9日(火)公開

国際合意なき温暖化ガスの濃度水準

地球温暖化への関心が、これまでにない高まりを見せている。すなわち、地球温暖化の悪影響が現実化しつつあるので、一刻も早く対策を実施すべきであり、対策が遅延すればするほど、そのつけは大きくなると叫ばれている。では、対策をどの程度実施すべきなのか。

世界 189 カ国が批准し、京都議定書の基礎となっている「国連気候変動枠組条約」の第 2 条に、温暖化対策の「究極目標」として下記の記述がある。

「……気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととされない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極的な目的とする」

すなわち、気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼさない濃度での安定化が究極目標である。それでは、この濃度に安定化すれば目的は達成されるのか。条約第 2 条の後段部分に、下記の規定がある。

「そのような水準は、生態系が気候変動に自然に適応し、食糧の生産が脅かされず、かつ、経済開発が持続可能な態様で進行することができるような期間内に達成されるべきである」

つまり、危険でない濃度で安定化を達成しても、それだけで条約の目的を達成したと見なされない。条約の目的を達成するには、生態系の適応、食糧生産、持続的な経済発展の三つの条件を満たす必要があるのである。このうち最後の条件は、平たく言えば環境と経済の両立である。温暖化の進行により経済の持続的発展に悪影響を及ぼしてはならないが、一方で、あまりに急激な温暖化対策を導入して、目指す濃度は達成したが経済がガタガタでは本来の目標を達成したとは言えないのである。濃度が低ければ低いほど、温暖化の危険の度合いは低下するが、半面、そのためのコストは逡増する。こうした諸点も勘案すると、気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼす温室効果ガス(GHG)の濃度(以下「危険な濃度」とはどの水準か。

残念ながら、現状では、この点に関する国際合意はない。この最も基本的な合意なしに温暖化対策の必要性が叫ばれ、京都議定書に沿って日本・欧州連合(EU)など一部の国で対策が実施されている、これが実情である。

「危険でない濃度水準での安定化」が条約の目的に

「危険な濃度」について取り上げる前に、気候変動枠組条約の目的を記述している 第 2 条の成立過程 に簡単に触れておく。

温暖化に関する枠組み条約の必要性が初めて言及されたのは、1985 年 10 月、国連環境計画 (UNEP)、世界気象機関 (WMO) などの主催で開かれた国際会議の場であった。しかし、この時点ではまだ、条約の目的についての議論はなかった。

1987 年に GHG の専門家グループによる報告書が出され、その後の議論を通して気温上昇のスピードと上昇幅、それに海面上昇を基にした目標設定の概念が形成された。これに触発される形で、温暖化の悪影響を避ける水準での濃度安定化数値目標の設定を、オランダ政府が最初に主張した。

一方、1988 年になると、環境的側面よりも政治経済的側面に注目した目標が提唱されるようになる。例えば、同年のトロントの温暖化国際会議で出された先進国による「2005 年 20%削減目標 (基準年は 1988 年)」は、この例である。この後しばらく、こうした (究極的な濃度についての議論なし) の排出削減目標アプローチに、世界の関心が集まったことは周知の通りである。

環境的側面を重視したオランダ政府の主張は、1989 年に 67 カ国が参加して開催された温暖化に関する国際会議で採択された「ノールトヴェイク宣言」に取り入れられた。内容は、「長期の地球の安全と生態系のバランスを維持するために、地球の自然な吸収力と一致する水準に GHG 排出量を抑制・削減すべきである。それは生態系が適応し、食糧生産が脅かされず、かつ経済が持続的形態で発展する時間軸の中で達成されねばならない」、というもので、ほぼ現在の気候変動枠組条約第 2 条に等しい。

1991 年の気候変動枠組条約交渉では、トロント会議の流れを汲む GHG 削減目標と、ノールトヴェイク宣言に基づく濃度安定化目標の二つの流れがぶつかり、前者は第 4 条に片鱗を残し、後者は第 2 条として取り入れられた。

ここで重要なことは、温暖化対策の目標として、「危険でない濃度水準での安定化」と「排出削減」の二つの考え方があったが、最終的に前者が条約の目的として取り入れられたことである。

IPCC が判断を避ける「危険な濃度」

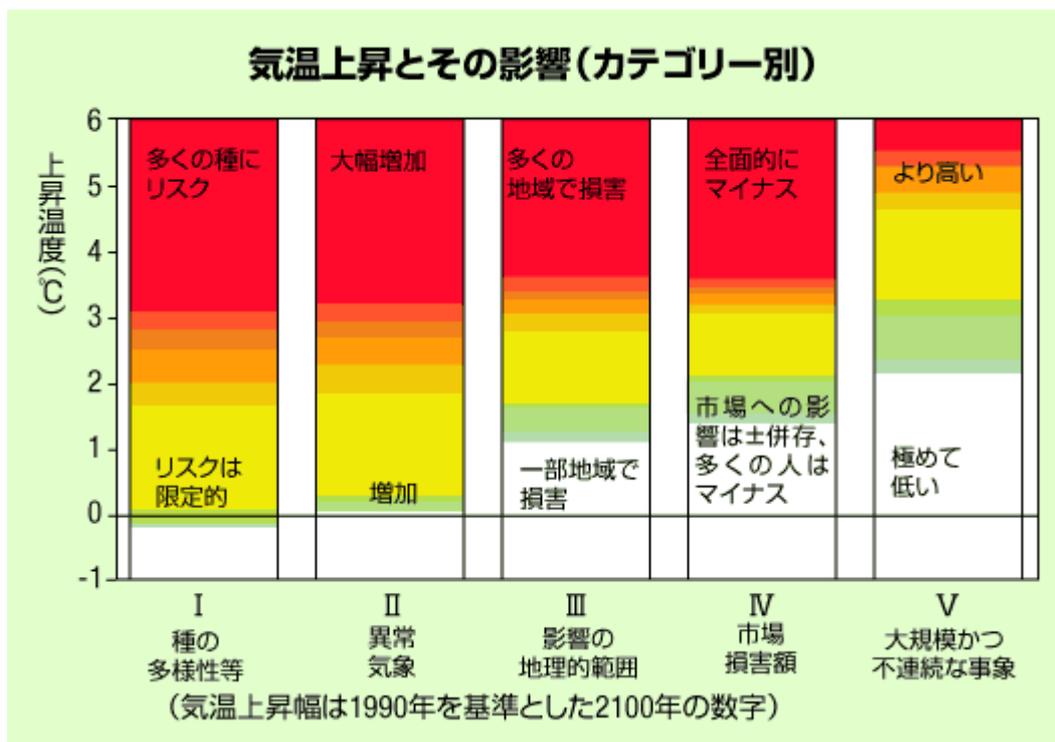
気候変動枠組条約の締結直後から、「危険な濃度」に関する議論が活発化したのは容易に想像できる。しかし、政治の場の関心は、気候変動枠組条約に続く議定書 (京都議定書) に移っており、枠組み条約 2 条の検討の役割を担ったのは「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」であった。実際、1992 年 7 月の WMO 決議に従い、IPCC は、この濃度の研究を開始した。しかし、1995 年に

第2次報告書の一環として刊行された、条約第2条に関する統合報告書において、その濃度がどの水準かは決定困難として判断を避けている(同報告書4頁)。

IPCCではその後も、この問題を継続的に扱っている。2001年に出版された第3次報告では、統合報告書の冒頭でIPCCの研究が「危険な濃度」の決定に際して、非常に重要な情報や証拠を提供するとして、決定は「経済発展」「衡平性」「持続可能性」「不確実性」等を勘案したうえでの政治的「価値判断」である(のでIPCCの範疇を超える)とした。近々、本文が刊行される予定の第4次報告においても、この基本姿勢は変わっていない。

とは言うものの、第3次報告では「危険な濃度」を特定する判断材料として注目すべき図を作成している。これは5つの「懸念事項(reasons for concern)」について、濃度ではなく気温上昇とそれによる損害の関係を示したものである。

■リスクの種類ごとに、気温上昇の影響が異なる



気温上昇の影響は「種の多様性等」「異常気象」「影響の地理的範囲」「市場損害額」「大規模かつ不連続な事象」などのカテゴリーによって発生仕方が異なる(出典:IPCC 第3次報告書)

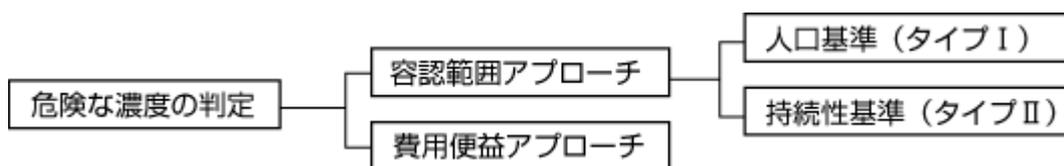
棒グラフは気温上昇のそれぞれのカテゴリーへの影響度合いを示す(色が濃くなるほど損害が増大する)。カテゴリーは左から、「種の多様性等」「異常気象」「影響の地理的範囲」「市場損害額」「大規模かつ不連続な事象」という、5つの懸念事項を表す。

例えば、サンゴ礁の死滅など、種の多様性や異常気象は、気温の上昇幅がかなり小さい段階で影響が出始め、上昇幅が大きくなるにつれて影響が増大する。これに対して、市場損害額は 3°C 近く上昇するまではプラスとマイナスが混在している。さらに大規模かつ不連続な事象の発生は、5°C 程度上昇するまでは、それほど高くはないという具合である。

二つに細分化される容認範囲アプローチ

危険な濃度に関し、これまで、いろいろな考え方が提起された。これらは容認範囲アプローチ (Tolerable Windows Approach) と費用便益分析に大別される。前者は容認できる限度を特定し、これを超える濃度は危険な濃度とするものである。このアプローチはさらに二つに細分される。

「気温上昇とその影響の図」を見て欲しい。5本の柱(カテゴリー)のうち中央の3本は、気温上昇に伴い徐々にリスクが高まる性質を持つ(タイプⅠのリスク)。これに対して、一番左の種の多様性等、それに一番右の大規模かつ不連続な事象の二つは、ある許容可能範囲を超えるとリスクが顕在化し、その影響が不可逆である(タイプⅡのリスク)。熱塩循環の停止(海流の流れの変化により、北部ヨーロッパで最大 10°C 寒冷化する)、グリーンランドや西部南極大陸の氷柱崩壊(による海面の大幅上昇)は一番右の柱の例である。タイプⅠのリスクは、損害を受ける人口で「危険な濃度」を判定しようとし、タイプⅡのリスクについては、持続性の喪失をもって「危険な濃度」とするとの考え方がある。これを図示すると次の通りである。



人口基準の代表的研究は 2001 年の英国のパリー (Parry) らによるものである。「濃度・気温上昇により新たにリスクにさらされる人口」の図は水不足、マラリア、沿岸洪水、飢餓という 4 種のリスクを対象として、一定の濃度 (例えば、550ppm、750ppmCO₂ 安定化および対策なしの場合) に応じた気温上昇により、追加的にリスクにさらされる人口の変化を表したものである。

2050 年代では、濃度上昇とともにリスクにさらされる人口が漸増しているが、2080 年代では、550ppmCO₂ を超えたあたりから急激にその人口が増えるように見える。パリーらは、750ppm に安定化することでリスクにさらされる人の数は飢餓と洪水では半分、マラリアは 3 分の 1、水不足は 4 分の 1 程度減少するが、さらに大幅に減少させるには 550ppm での安定化が必要であるとして、

550ppmCO₂が危険な濃度の閾値(これを超えると危険となるという境界値)であると主張している。

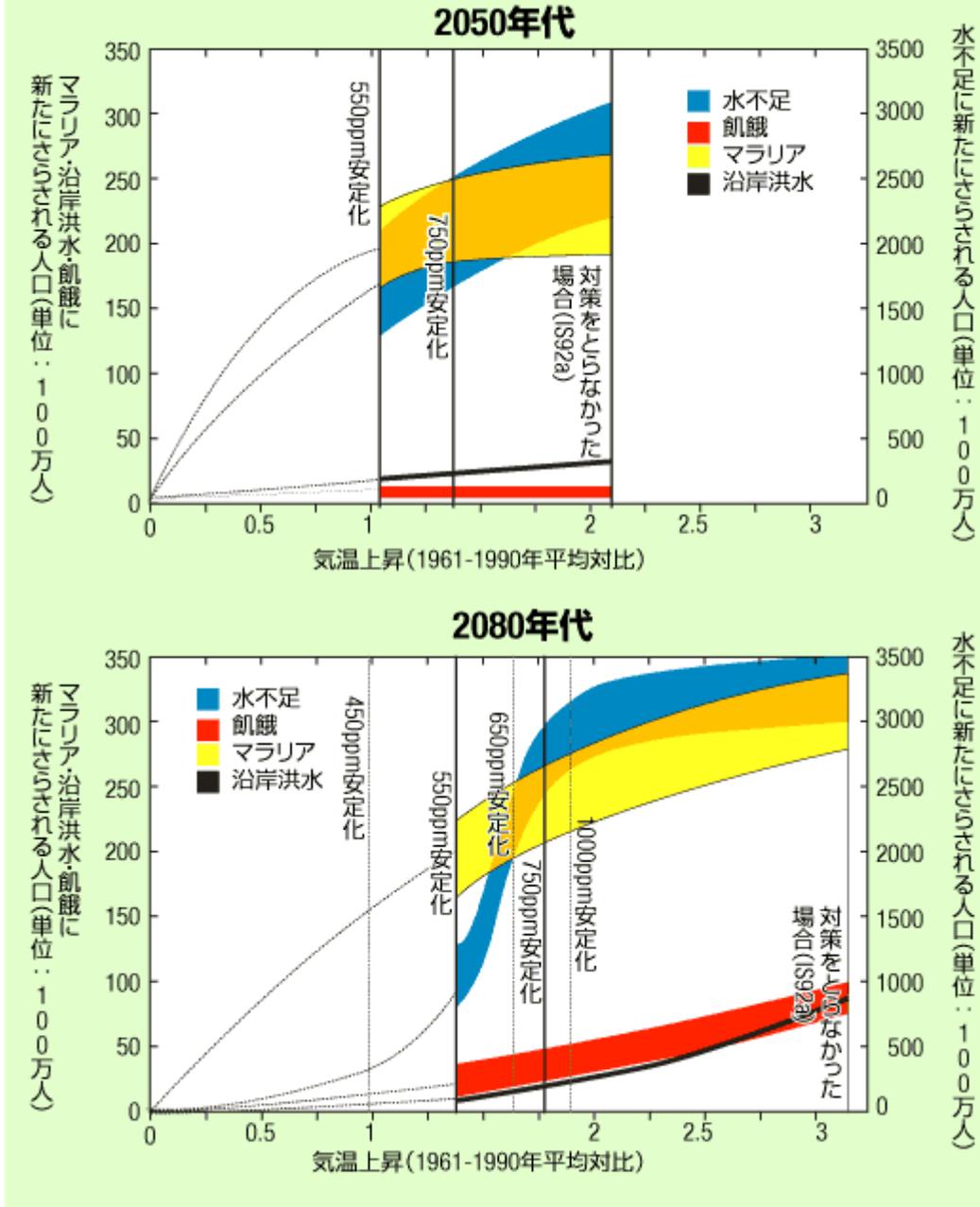
本当にそうか。最初の疑問は原著者も指摘している通り、対策無しの場合の排出シナリオをIPCC 第2次報告の「IS92a」としたという点である。第2次報告の後の2000年に6つの新しいシナリオ(SRESシナリオと呼ばれている)が開発され、それが広く使われるようになっているので、これらのシナリオでどうなるかの検証が必要である。

次に、2080年代と2050年代の大きな相違は、水不足に直面する人口の激増である。この主たる理由は中国、およびインドでの大都市への人口集中である。このあたりは最新の科学的知見、および人口予測ではどうかを確認する必要がある。また、ここでは2050年代と2080年代の二つしかないが、ほかの年代をとれば必ず結果が違ってくる。こうしたことを考えると、550ppmCO₂がリスクにさらされる人口基準から見た閾値と断定するのは早計である。

仮に、ある濃度を超すとリスク人口が急増するとしても、それが何人に達したら「危険なレベル」なのかについての科学的根拠はない。また、水不足とマラリア、沿岸洪水のリスクの重み付けの問題など言い出したらきりがない。さらに、生態系への悪影響など、人間以外への影響は対象外である。

■科学的根拠なきCO₂濃度危険レベル

濃度・気温上昇により新たにリスクにさらされる人口



図中の縦線は濃度安定化水準、縦線が横軸と接する場所の気温は当該濃度安定化の場合の気温上昇。実線の幅はモデル計算による上限と下限、点線は推測。基礎となる(特段の対策をとらない場合の)シナリオはIPCC第2次報告の「IS92a」(出典:「Millions at risk, defining critical climate change threats and targets」, Parry et al. Global Environmental Change 11 (2001) より)

容認範囲アプローチでは「危険な濃度」を特定できない

容認範囲アプローチのもう一つの考え方である、持続性基準はどうか。この基準の対象は、「気温上昇とその影響」のグラフの両端にある、種の多様性への悪影響および大規模かつ不連続な

事象の発生である。しかし、この場合、サンゴ礁の死滅など左端のリスクを避けようとするのか、右端の大規模リスクを避けようとするのか、すなわちどちらを危険な濃度(気温上昇)とするのかによって、対策の程度は大きく異なる。前者だと2℃上昇で相当の悪影響が必至であるが、この程度では後者にはほとんど悪影響がない。したがって、同じ持続性基準といっても、どのような持続性の断絶を重視するかによって、危険な濃度(温度)の意味はまったく異なる。

上記の議論から明らかな通り、容認範囲アプローチでは、人口基準、持続性基準のいずれをとっても「危険な濃度」を科学的に特定することはできない。両方の基準に共通しているのは、熱塩循環の停止やグリーンランド氷床崩壊のような大規模かつ不連続な事象は何としても避ける必要があるということであろう。しかし、このリスク自体が、大きな不確実性を有している。

米国の学者、オッペンハイマー(Oppenheimer)は その論文 で、西部南極氷床崩壊あるいはグリーンランドの氷床崩壊を引き起こす濃度(気温上昇)こそ、疑いなく「危険な濃度(気温上昇)」であるとしたうえで、次のように述べている。

すなわち、どの程度の気温上昇がどの程度の氷床崩壊と海面上昇を招致するのか、また、それはどの程度の期間で生じるのかに関し、あまりにも不確実性が高い。たとえば、氷床崩壊による海面上昇が1000年間に1mであれば、費用はかかってもこれを管理することは可能だが、100年間に1m以上の場合には適応は極めて困難になる。しかし現在の科学では、氷床崩壊の期間に関する確率を得ることはできない。

地球温暖化対策の究極目標[後編]

<http://premium.nikkeibp.co.jp/em/column/yamaguchi/13/index.shtml>

コストと悪影響を勘案し 実行可能な目標で世界合意を

2007年10月22日(月)公開

「危険濃度」水準はコストとの相関関係で決まる

「危険な濃度」を判定する手法の一つと考えられている「容認範囲アプローチ」は意思決定者に有益な情報を与えはするものの、これに基づく「危険な濃度」は決して一本化しない。もう一点、このアプローチに欠けているのはコストの概念である。仮に、ある濃度水準が「危険」との合意が成立したとしても、その濃度で安定化させるコストがあまりに高ければ実現可能性がない。

この点に注目したのが、費用便益アプローチである。対策実施による環境損害の回避(便益)と対策のコストを比較し、それが、ちょうど等しくなるところまで対策を実施するのが最適との考え方である。もちろん、このアプローチに関しては、環境損害(特に人の健康や生態系など、非市場価

値の貨幣換算問題)、割引率適用の可否など、本質的な問題がある。この点は、費用便益分析を論じる際に詳述する。

上記の通り、費用便益アプローチには「危険な濃度」の概念はない。しかし、危険な濃度水準の判断に際し、有益な情報を与えることもできる。例えば、将来世代も含めた消費効用の現在価値の総計の最大化を「最適」とするものの、人口基準や持続性基準などから、ある事象の発生を「危険な濃度」と想定し、それを避けるために、どの程度最適状態から乖離しなければならないかを示すことができる。こうした点に着目したのが ケラー(Keller)らの研究 である。この研究では、通常の「最適」と「西部南極大陸氷床(WAIS)崩壊」、「珊瑚礁の死滅」の比較を行っているが、ここでは最適と WAIS 崩壊の比較を取り上げる。

ケラーらの研究によると、WAIS 崩壊を避けるためには、ピーク時の濃度を 460ppmCO₂ 以下とすることが必要で、そのためには最適に比べ追加的なコストがかかる。この追加的コストと、濃度が(最適値以下に)下がることにより回避される損害(便益)を比較し(当然、最適からの乖離なのでコストが便益を上回る)、その程度が WAIS 崩壊を避ける代償として受け入れ可能かを判断しようという手法である。詳細は省略するが、WAIS 崩壊を避ける代償は、世界の GDP(国内総生産)の 2%程度に相当する投資を1回行う程度で済むため、最適からの乖離は受け入れるべきとの結論に至っている。一つの考え方だと思う。

もう一つ、トル(Tol)とヨーヘ(Yohe)によるユニークな研究がある。これは「危険な濃度」ではなく「危険な排出削減」に焦点をあてたものである。この研究では、対策によりピーク時の温室効果ガス(GHG)濃度(CO₂換算)を 850、750、650、550、450ppm とすることを想定し、特段の対策をとらない場合から、こうした濃度に向けて排出を削減する効果(回避される損害)を測っている。それによると、濃度を下げれば下げるほど、その効果は減少し(回避出来る損害が少なくなり)、550ppm から 450ppm に下げる場合は、貧しい地域ではかえって損害額が増加するという結果となった。

この理由として、450ppm ケースはあまりにもコストが高いため、経済に悪影響を与え、そのため気候変動に対する脆弱性が増加すること、もう一つは、急激な CO₂ 濃度の低下は温暖化抑止効果を有する窒素酸化物(SO_x)の大幅減少を招くことが挙げられている。

このモデルでは、WAIS 崩壊のような不連続の大規模損害の想定がないなど、種々未完成的な部分があるが、費用便益の関係から、ある水準を超えた排出削減は、むしろ危険であることを示そうとした試みとして注目される。

合意形成に IPCC 報告書を最大限利用すべき

「容認範囲アプローチ」「費用便益アプローチ」ともに、「危険な濃度」についての手がかりを与えるが、これによって具体的な水準を決めることはできない。どちらのアプローチをとっても、必ず価値判断が混在するからである。しかし、究極目標に対する世界の合意なくして、対策の程度で合意することはできない。

「危険な濃度(あるいは気温)」を科学的に決定することができない以上、現在の知見を最大限利用して政治的に合意する以外に方法はない。しかも、京都議定書の期限切れまであと5年と迫った現在、早急な合意が必要である。科学的知見が絶えず進歩するなかで、目標とする濃度水準は、随時見直す前提であれば合意が可能であろう。

筆者の意見は、合意形成に際して、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)報告書を最大限利用するということである。現時点では、第4次報告書は政策決定者用の要約のみしか公表されていないが、ここにも大きなヒントがある。

表は、公表されているIPCCのデータを基に、筆者が作成したものである。列の左から右に、目標安定化濃度(CO₂のみ)、それに相当するGHG安定化濃度(CO₂e)、それに対応する気温上昇幅など、さまざまな指標を示している。注意が必要なのは「削減コスト」で、これは地球規模の排出権取引、取引費用ゼロ、透明な市場を前提としている。

ノードハウス(Nordhaus)も指摘しているように、こうした前提が少しでも崩れるとコストは高騰する。途上国がCapを受け入れて取引に参加することが見込めない以上、削減費用の高い場所での削減が先行し、費用は2倍、3倍というスケールで増えていくと推測される。

■究極目標参考資料

CO ₂ 濃度 (ppm)	CO ₂ e濃度 (ppm)	気温上昇幅 (工業化後)	CO ₂ 排出 ピーク率	CO ₂ 削減率 2050/2000 (%)	削減コスト 対GDP (%)	損害	シナリオ 数
350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85~-50	5.5未満		6
400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60~-30			18
440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30~+5	1.3(-0~4)※		21
485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10~+60	0.5(-1~2)		118
570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25~+85	—	GDPの	9

						1~5%	
660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90~+140	—		5

IPCC AR4 WG2 SPM P2.0 および WG3 SMP Table 5 および 6 から作成(※-0 は、「0 よりわずかにマイナス」を示す)

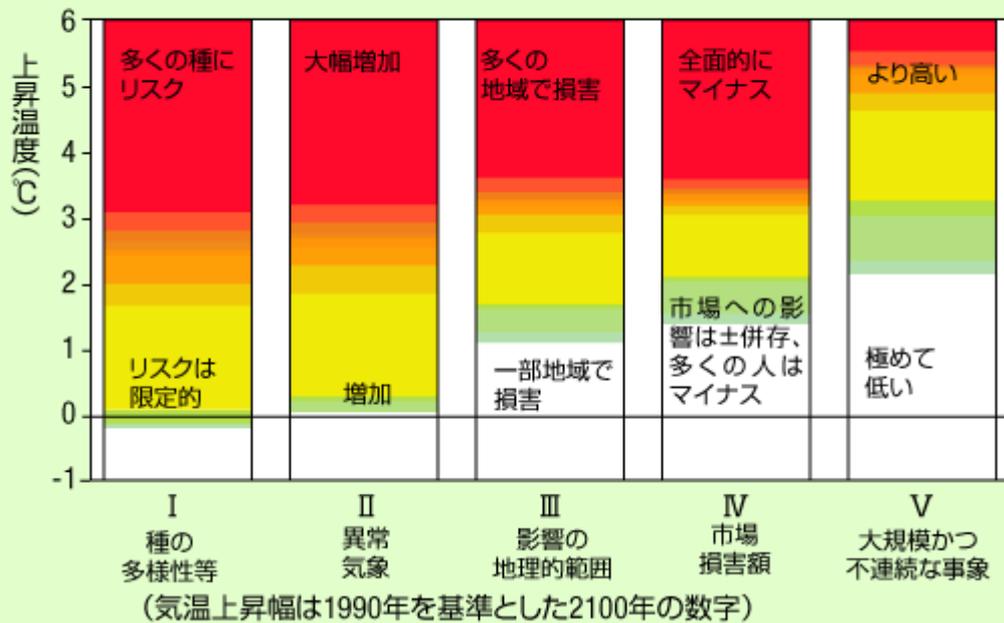
専門家の多くは「安定化目標は 550ppmCO₂」と考えている？

「サミットの成果と洞爺湖への戦略」で詳述したように、欧州連合(EU)の2°C目標は前ページの表に照らしてほぼ実現不可能で、また、2050年に2000年比半減も極めて難しい。こうしてみると実現可能性があるのは、表のなかの上から3段目の535-590ppmCO₂e以下である。表の示す通り、710-855ppmCO₂eと855-1130ppmCO₂eの濃度レベルは、ほとんどコストなしに達成可能であるが、4°C以上の気温上昇は避けられず、下の「気温上昇とその影響」の図で示した懸念事項と照らし合わせると、ほとんどの損害が不可避である。

したがって、535-590ppmCO₂e(440-485ppmCO₂)ないし590-710ppmCO₂e(485-570ppmCO₂)を目指すことが妥当だろう。この議論を進めるにあたっては、削減コストと、「気温上昇とその影響」のような当該気温上昇に応じた悪影響を勘案のうえ、実行可能な目指すべき濃度で、政治的に合意するのが望ましい(なお、「気温上昇とその影響」とは別にIPCC第4次報告でも気温上昇と水、生態系、食糧、沿岸洪水、健康への影響を一覧にした図が示されている)。

■実行可能な濃度で政治的に合意するのが望ましい

気温上昇とその影響(カテゴリー別)



710-855ppmCO₂e と 855-1130ppmCO₂e の濃度レベルでは、4°C以上の気温上昇が避けられずほとんどの損害が不可避。535-590CO₂e(440-485ppmCO₂)ないし、590-710ppmCO₂e(485-570ppmCO₂)を目指すことが妥当と考えられる

この点に関し、日本で初めて、地球環境産業技術研究機構(RITE)を中心とした研究(通称 PHENIX プロジェクト)が行われ、今年3月、研究成果が報告書としてまとめられた。それによると、専門家の評価を経た最終的に目指すべき安定化目標は 550ppmCO₂との答えが多かった。筆者の感触もこれに近い。報告書では、これは一つの考え方であるとしているが、(表の「シナリオ数」からも分かるとおり)このレベルを対象としたシナリオ研究が世界でも飛び抜けて多いことは、世界のモデル専門家が暗黙のうちにこのレベルを心に描いていることを示しているのではないかと思う。この点については今後、さらなる研究が必要と思うが、この研究をさらに発展させ、日本の意見として世界に提示するところまで早急にもって行って欲しいと思う。