

地球温暖化による人類社会への影響

Impacts of Global Warming on Human Societies

安藤 満
ANDO Mitsuru

はじめに

原油価格の高騰が続く中、生活に直結したガソリンや灯油の値段が上昇し、日本は勿論であるが世界各地において日々の生活や経済面において先行きの不透明感が増してきている。この背景にはキャンベルらの「世界の石油生産がピークを迎えている」との主張が徐々に浸透し始めていることを物語っている。最近頻繁に起こる資源を巡る国際的な葛藤についても、石油生産のピークと密接に関連していると分析されている。

ロシアの資源を巡る戦略は巧妙で、2005 年年末から 2006 年年始にかけて価格交渉の纏れからウクライナへの天然ガス供給を削減したが、このことは資源大国ロシアの今後の外交戦略の一面を現したと捉えられている。この削減のためウクライナ経由の欧州各国への天然ガス供給も減り、厳冬期の欧州各国国民の不安を醸し出した。

日本も太平洋向けの天然ガスや石油パイプラインを敷設することで、2005 年 11 月にロシアと合意した矢先であり、他国に依存した資源供給の不安定さを垣間見る思いをした政策決定者も多かったことと考えられる。後で詳しく触れるが、エネルギー自給の側面を担う自然エネルギーを積極的に利用する必要性がこのようなところにも現れている。

石油生産のピークは、各国において天然ガスや石炭へのシフトを促しているが、いずれも化石燃料であり焼却に伴う二酸化炭素の放出が避けられない。特に比較的豊富な石炭へのシフトは、当面止むを得ない処置であるとはいえ、二酸化炭素の放出を急増させると予想されるため、地球環境にとっては憂慮すべき事態になるかもしれない。現在の規模で化石燃料を消費し、大量の二酸化炭素を放出していくと、二酸化炭素の温室効果により地球の温暖化の進行が避けられない。既に温暖化は顕在化しているとされているため、環境への影響に関して幅広い学問分野からの解析が必要となる。生態系への温暖化の影響は、平均気温の上昇のみならず、気候の不安定化が進み、台風・サイクロン・ハリケーン、夏季の高温、多湿、乾燥、豪雨のような極端な気象現象によっても強く影響される。

温暖化により夏季の最高気温が上昇すると、世界的には熱波が発生し易くなり、人間は無論のこと温度順応が未成熟な適応度の低い野生動植物にとって大きな負担となる。一方、農作物や家畜においては、温暖化により害虫の生存域や病原微生物の増殖域が変化するため、感染が拡大し易くなると予想され、世界の食糧生産に重大な影響がでることも予想される。

石油減耗はこのような事態への社会的対応能力を弱める可能性があるため、地球温暖化により予想される影響と緩和策について検討を進めた。

気候変化とは

長期予報と異なり、日本全土においても 2005 年暮れから 2006 年 1 月にかけて、例年になく大雪に見舞われた地域が多かったが、モスクワは 2006 年 1 月 16 日から 19 日までに - 31 を記録し、この間に 18 名の凍死者（10 月末から 123 名の凍死者）が出ていると報道された。この寒波は、西ヨーロッパから東シベリアさらに南アジアに広がるほどの勢力を持っており、多数の人的被害と経済的被害を引き起こしている。米海洋局（NOAA）によると、この原因として寒気を溜め込んだ極渦（低気圧）が弱く、寒気が周囲に広がる「北極振動マイナスの状態」が長く続いているため寒気が強まっていると説明している。このような現象が起こる真の原因は不明であるが、温暖化により気候変化を起こすことは、気候を攪乱することであり、世界的に気候の不安定化が増してきていることも考えられる。この寒さに対して、ロシア当局は天然ガスの外国への供給を削減する方針を明らかにしている。資源国が今後とも自国へのエネルギー供給を最優先させることは、ある意味で当然予想されることであり、輸入国側もそれに対する備えと覚悟が必要とされている。

地球温暖化は特別な現象ではなく、地球史の中で普通に起こっている現象である。水蒸気、二酸化炭素、メタンなどの温室効果ガスは、火山活動由来のガスとして太古の昔より常在していたガスであり、これらのガスによる地球温暖化も地球の常態といえる。原始地球においては大気中には高濃度の二酸化炭素や水蒸気が存在し、極端な地球温暖化が起こっていたと考えられている。現在の金星が高濃度の二酸化炭素により灼熱地獄となっているのと良く似た現象である。

理論的に太陽定数と地球断面積から求めた地球の放射平衡温度は - 18 であるが、実測の地球全体の温度は + 15 である。この間の気温差 + 33 は地球温暖化によってもたらされている。全面凍結の地球ではなく、生物の生存できる地表温度が実現しているのはこのような温暖化のためである。

それと異なりこれから述べる「温暖化」とは、「既に温暖化している状態がさらに加速していくこと」を意味している。近い将来、温暖化は気候帯、地域、季節毎に異なった気象現象を伴いながら進行していくと予想されているが、最新の大気-海洋-陸域間の地球規模循環モデル（GCM）を用いても、詳細については不明確な部分が多く存在する。気候変化に伴う環境への影響、自然生態系への影響については、影響の範囲や相互作用の複雑さの故に正確な予測は困難であるため、幅広い視点からの解析が今後とも必要とされる。

現在気候変化をもたらす主要な原因は、産業革命以来の化石燃料の消費による二酸化炭素濃度の増加である。気候変動を引き起こす最大の要因である二酸化炭素は、我々生物が呼吸により放出する正常なガス成分であり、大部分は呼吸や自然の過程に由来している。自然由来の二酸化炭素は、植物の光合成や海洋の吸収により、ほぼバランスよく循環している。化石燃料由来の二酸化炭素の蓄積については、既にスパンテ・アレニウスが 100 年以上前（1896 年）に、二酸化炭素濃度が倍加した時点では、4 ~ 5 の地球温暖化が起こるであろうと発表している。

火山ガスとしての二酸化炭素放出は膨大であるため、火山活動に由来する地球進化上の二酸化炭素濃度の変化は著しく、それに伴う地上温度の変化も顕著であった。200 万年前からの第四紀の氷河期に入ると、光合成や海洋による吸収と呼吸による放出のバランスの上で、二酸化炭素濃度は氷河期の 200ppm から間氷期の 280ppm の間で変動している。

キーリングらが赤外線ガス分析器を用いて、ハワイのマウナロアにおける二酸化炭素の濃度の観測を開始して以来、二酸化炭素濃度の季節変動と経年的増加が注目された。二酸化炭素濃度の季節変動については、植物の光合成の盛んな夏場に低下し、暖房用に化石燃料の使用が増える冬季に上昇することで説明できる。しかし経年的な濃度増加は、化石燃料由来の二酸化炭素が大気中に蓄積し続けていることを示していた。このことは地球規模の炭素循環の中で、化石燃料由来の二酸化炭素が吸収できないことを示していた。二酸化炭素濃度の増加は植物の光合成を促進するため、将来的には二酸化炭素固定の促進があるのではないかとという予測がなされたため、放出抑制に向けた効果的取り組みはなされてこなかった。その後、南極やグリーンランドの氷床のガス分析、メタンや亜酸化窒素等の温室効果ガスの増加、GCMモデルによる気候変化のシミュレーション結果等から、将来にわたり大気中二酸化炭素の蓄積は加速し、その温室効果による地球温暖化が予測され、対策が急がれる現状に至っている。

いまだその生成については議論が続いているが、藻類と予想される過去の生物堆積物の油化作用の結果生成した石油と、陸生植物蓄積物の炭化生成した石炭は、地球の過去の貴重な遺産である。この貴重な地下資源である化石燃料の消費は、社会の近代化と急増する世界人口を支えた物質的背景である。その一方、自動車排気ガスや工場排気ガスに端的に見られるように、化石燃料の燃焼に伴う環境汚染は世界規模で引き起こされている。

輸送手段の安価かつ大規模な確立とエネルギーの集中は、世界的な都市化による都市居住人口の巨大化をもたらした。都市のエネルギー消費の巨大化と人工的構築物の集中は、ヒートアイランド現象の加速を促進するため、都市においては特殊な気象環境を作り出している。ヒートアイランド下の都市に住む住民への長期間の熱ストレスの増強は、温度順化能の発達が未成熟である子どもや生理的順化能の低下している高齢者への影響が大きいと予想されている。

また地球温暖化による気温の上昇や降水量の変化は病虫害の生存や越冬に大きな影響を与えると予想される。一般に病虫害は温暖な気候を好むため、地球温暖化は病虫害の分布の拡大をもたらすと予想される。冬季の低温のため越冬できなかった害虫が温暖化により越冬が可能となると、感染の爆発的急増をもたらす可能性がある。先進国のアメリカ合衆国においても流行爆発がみられており、環境衛生対策の遅れている開発途上国においては、人や農作物・家畜への感染症の爆発的拡大への警戒が必要とされている。

進行する地球温暖化の原因、温暖化による自然生態系への影響、感染症や熱波による影響等について検討し、生存環境を向上させていく上から今後新たな予防対策が急がれる。

地球温暖化の予測

世界人口の増加、化石燃料の使用、森林伐採、水稻栽培、牧畜の急増は、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素等の「温室効果ガス」の対流圏への蓄積を増加させ、このまま推移すると間氷期の温暖な気候をさらに温暖化させると予想されている。気候変化は、人間の健康に広範囲に渡る悪影響を与える可能性がある一方、海面上昇、野生動植物の生存環境の劣化に伴う生物多様性の喪失、土壌の劣化、海洋生態系の破壊、地下水を含む淡水資源の減少等が危惧されている。

このため 1988 年、国連機関の世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) によって、「気候変

動に関する政府間パネル(IPCC)」が組織され、「第一次報告書」(1990)、「第二次報告書」(1996)に続き、2001年「第三次報告書」が作成された。この評価報告書に基づき、国連気候変動枠組み条約(UNFCCC)では、現在具体的対応策として温室効果ガスの削減の国際的合意形成を目指し、京都議定書が2005年2月16日発効している。また世界食糧農業機構(FAO)や世界保健機関(WHO)も、「気候変化による食糧への影響」について報告書を公表し、その中で熱波等の異常気象による食糧生産の悪化、農作物や家畜の感染症の増加、洪水等の自然災害などによる影響の可能性について検討している。

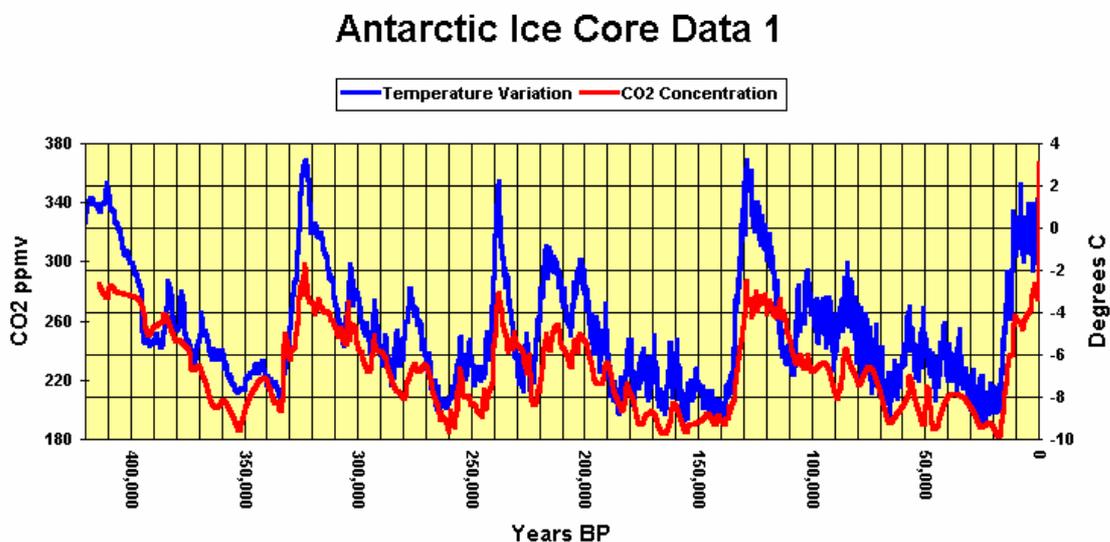
気候変化の影響は、生物の分布、食糧生産性のレベル、病原微生物の増殖、水の可能供給量などの他の機構や作用との相互関係を通して現れてくるため、多くの不確実性を含んでいる。地球温暖化の影響は、熱波による家畜の死亡増加などの直接影響についての評価が行われているが、害虫や病原微生物による感染等の間接影響については、新たなモデルにより推定していく必要がある。また旱魃、食糧不足、地域的な環境悪化、生態系の攪乱などにより地球温暖化に対する自然生態系の脆弱性は変わるため、地球温暖化の影響は各国の地域生態系により差がある。

温室効果と地球温暖化

惑星大気の温室効果による温暖化は普遍的な現象であり、地球においては太陽活動・地球軌道のミランコビッチサイクルと、対流圏・成層圏に常在する水蒸気、二酸化炭素、オゾン等の温室効果ガスの放射強制力によって、地表温度は決定される。先に述べたように地表温度は平均約15℃に保たれており、温室効果ガスがない場合の予想平均気温-18℃と比べて33℃高い。

温室効果ガスとして重要な二酸化炭素の濃度は、マウナロアの観測では現在375ppmvを越えている。南極ボストーク基地で深さ3600mまで採掘され採取された氷床中のガス分析によると、この42万年間に氷河期が4回、間氷期が5回記録されている。(図1 参照)

図1 アメリカ合衆国オークリッジ国立研究所CO₂分析情報センター報告



二酸化炭素濃度は氷河期においては200ppmvと低く、間氷期には280ppmvと高くなっている。二酸化炭素濃度は300ppmvを超えたことが無く、375ppmvは42万年の中で最も高い濃度となっている。過去1万年にわたる現在の間氷期の間、地球表面の平均気温はかなり一定しており、二酸化炭素濃度は、産業革命以前は275ppmv前後で安定していた。産業革命後徐々に増加し、世界の工業化が進展した1950年以降急激な増加が見られている。

気候とは、特定の場所における30年程度の期間に起こる平均的な気象の状態を言い、気温、降水量、気圧、風、日射、雲の生成の平均値と変化、季節的な変動、異常気象の頻度についての情報が含まれている。気候は大気の全球的循環、貿易風気候、モンスーン気候、亜熱帯気候、海洋性気候、大陸性気候、極地気候等から構成される一方、空間的規模によって、大気候、中気候、微気候に分類されている。

表1に示すように、人間活動は水蒸気、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素などの微量気体の大気中濃度に直接影響を与えている。微量気体は大気全体の約0.3%しか占めていないが、温室効果に大きく寄与している。地球の気候変化は、可視領域を中心とした太陽放射と地球からの赤外線放射との間の放射平衡の変化により起こる。太陽放射の約3分の1が大気、雲、地表面によって宇宙空間に反射され、大部分は地表面に吸収され地表を温める。吸収されたエネルギーは赤外線として再度放射（地球放射）されるが、この赤外線領域が温室効果ガス、即ち二酸化炭素、水蒸気、オゾン、亜酸化窒素、メタン、ハロカーボンによって吸収される。このエネルギーは再放射されるが、大気中での温室効果ガス濃度の増加が、宇宙空間へエネルギー放出を遅らせるため熱が溜まり、熱の蓄積割合に変化をもたらし、地球の気候の放射強制力を増加させ、温暖化が進行する。

表1 主な温室効果ガスおよびエアロゾルの発生源と吸収源

物質名	発生源	吸収源
二酸化炭素	化石燃料（石炭、石油、天然ガス）、森林伐採、バイオマス燃焼、セメント製造	海洋及び陸地の生物圏
メタン	水田、天然湿地、反芻動物の家畜、バイオマス燃焼、化石燃料（石炭、採鉱、ガス採掘、排気、輸送）、シロアリ、動物及び家畜の廃棄物	大気中のOHラジカルとの反応
亜酸化窒素	土壌中及び水中の生物的発生源、肥沃化、バイオマス燃焼、工業的発生源	成層圏での光分解
含ハロゲン炭素化合物（CFC、ハロン）	工業的発生源、冷却剤、発泡剤、溶媒、難燃剤	成層圏での光分解
水蒸気	蒸発（海・陸水）、エアロゾル、航空機、燃焼	雲、降雨
エアロゾル	化石燃料の燃焼、煤、バイオマス燃焼、火山活動、土壌粉塵、海塩粒子、植物	降雨による洗浄

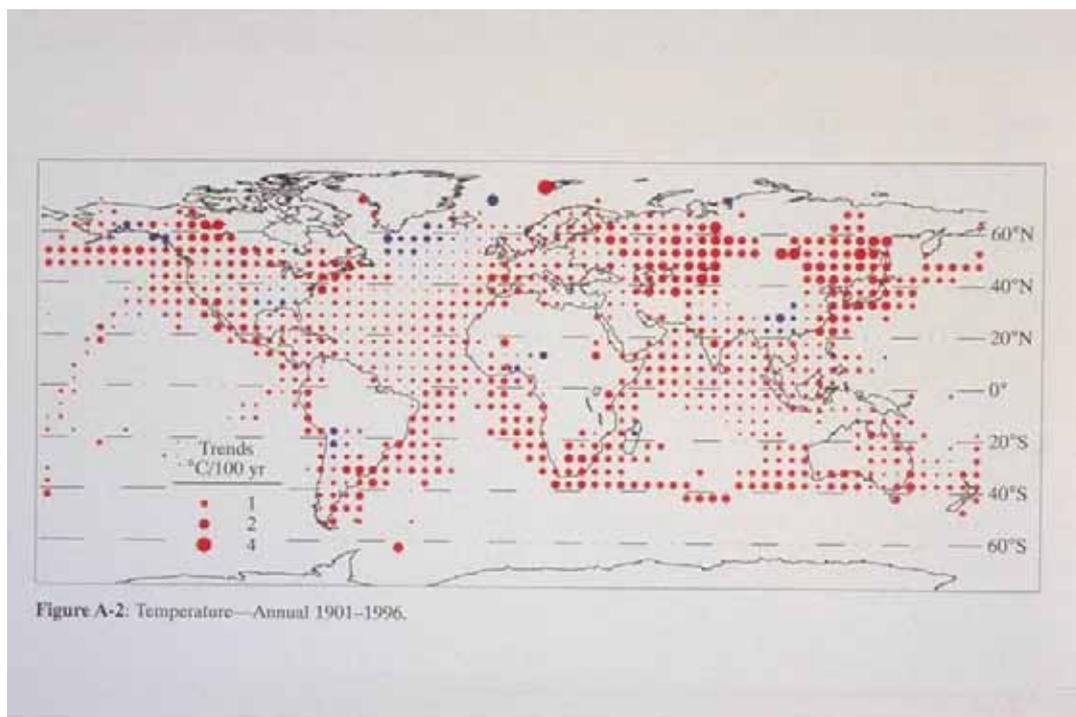
気候系には多くのフィードバックが含まれており、大気中の水蒸気の増加、雪や海上の氷の溶解等は、温暖化を促進するため正のフィードバックとなる。高い高度での雲の生成は温暖化をもたらす正のフィードバックとなり、低い高度での雲の生成は、寒冷化をもたらす負のフィードバックとなる。大気は、生物圏と海洋とに結びついており、生物圏の森林は大気から二酸化炭素を

取り除く吸収源であり、森林の成長は大気中二酸化炭素の増加によって促進され、さらに二酸化炭素を大気から取り除くため、温室効果を減少させる重要な負のフィードバックである。海洋は、熱の吸収源として作用し、深層部に熱をこもらせ、大気温度の上昇を遅らせる。

過去の気候

過去の気候観測の結果は、気候系が大気中の温室効果ガス濃度の変化にどのように反応したかを示している。16万年前までさかのぼる氷床のコアからの古気候学的測定によれば、地球の気温の変化は、大気中の温室効果ガス濃度の変化と実に密接に関連してきている。図1に示すように、地球規模での気候変化は既に起こっており、地球全体の陸地と海洋の平均表面気温は、1861年以降現在までの間に、0.3~0.6 上昇している。アジアにおいては、20世紀の96年間の間に温帯アジアと乾燥アジアの気温上昇が著しく、熱帯アジアと太平洋域アジアの気温上昇が少ない。また1988年以降、観測史上最も温暖な年の記録が頻繁に更新されてきており、地域や季節による変動はあるが、温暖化は海洋と陸地の両方で起こっている。(図2 参照)

図2 20世紀の96年間(1900-1996)におけるアジア各地の平均気温の推移 (IPCC 2001)

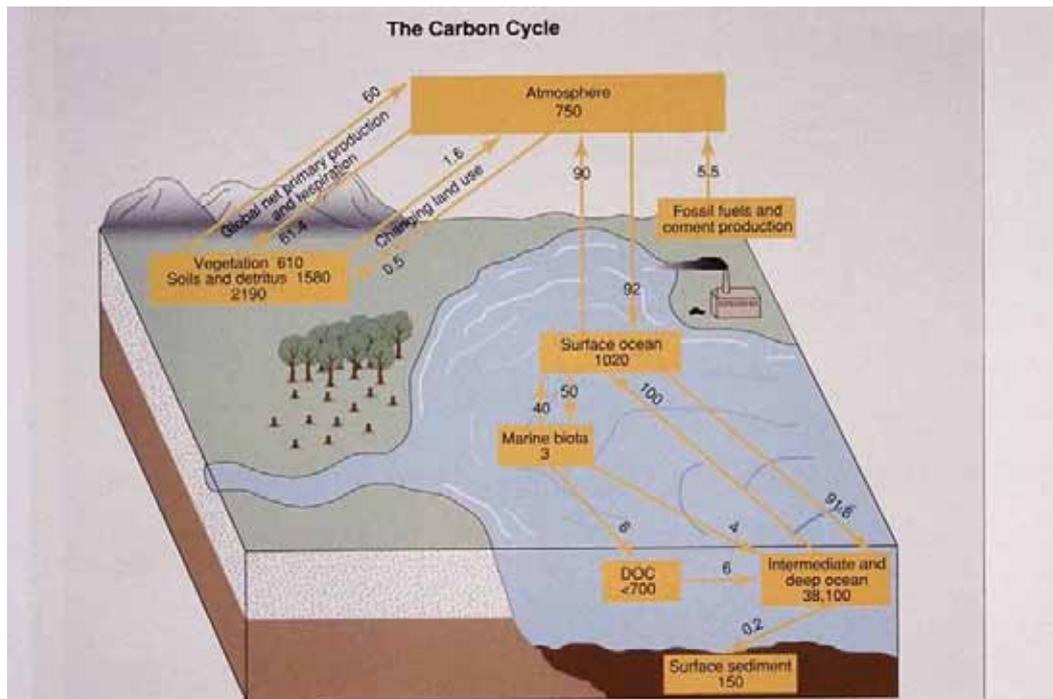


二酸化炭素濃度の増加

二酸化炭素の濃度は、工業化の前(1750年頃)には280 ppmであったものが、現在375 ppmを越えたことが知られているが、化石燃料の燃焼やセメントの製造により年間炭素換算約 5.5 ± 0.5

ギガトンの二酸化炭素が排出され、さらに熱帯地方での森林伐採により炭素換算 1.6 ± 1.0 ギガトンの二酸化炭素が発生していると見積もられている。人為起源の二酸化炭素排出量のうち約半分が森林の成長と海洋によって吸収されており、残りが大気中に蓄積する。将来の大気中の二酸化炭素濃度は、大気と海洋及び地球の生物圏との間での二酸化炭素の収支について、炭素サイクルのモデルを使って計算される。(図3 参照)

図3 IPCC (2001) によるグローバル炭素サイクルのモデル

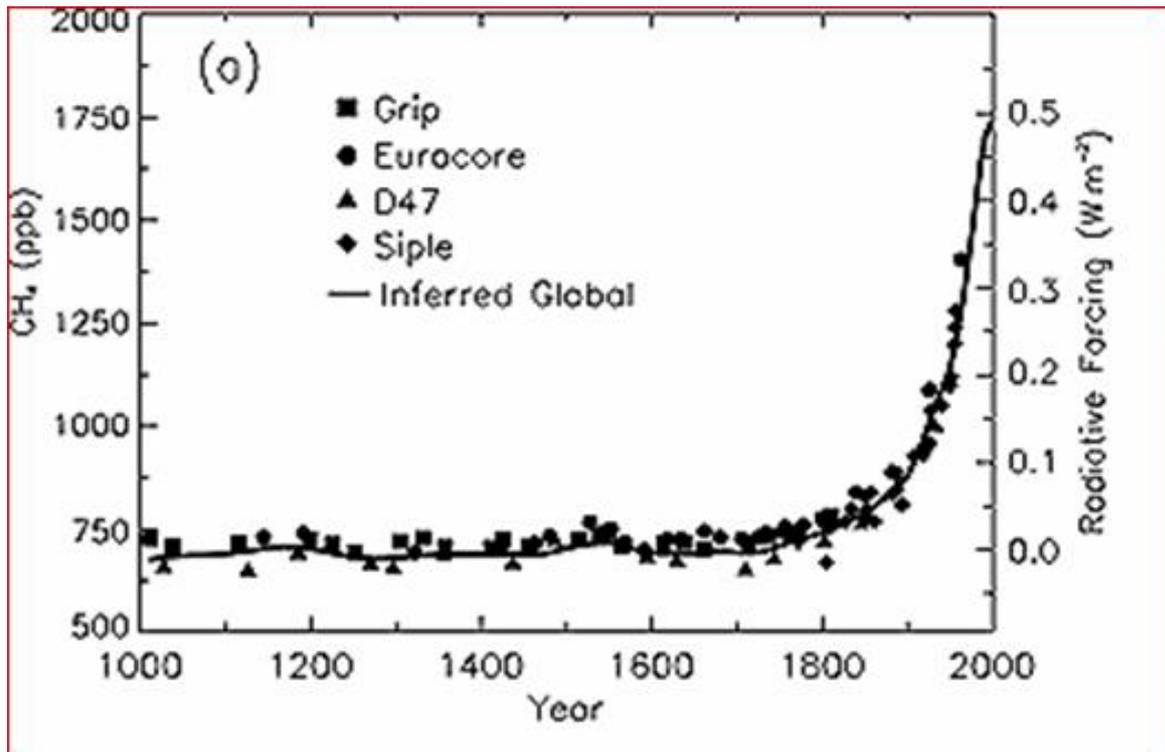


メタンの増加

メタンのような化学的に活性な温室効果ガスの除去をシミュレーションするには、大気化学モデルが使用される。現在の大気中のメタン濃度は、工業化以前のレベルの2倍を越えている。メタンの主な発生源は、水田、畜産、バイオマス燃焼、埋め立てである。一方、メタンは水酸ラジカルによる酸化によって素早く大気中から除去されるので、大気中での寿命は比較的短い(12~17年)。しかし、この酸化のプロセスにより温室効果ガスである水蒸気が発生するため、メタンの間接的な放射強制力は実際にはその直接的な効果よりも大きい。

(図4 参照)

図4 氷床コアの分析による西暦1000年から西暦2000年の1000年間のメタン濃度の増加 (IPCC, 2001) (地球温暖化係数: 21)



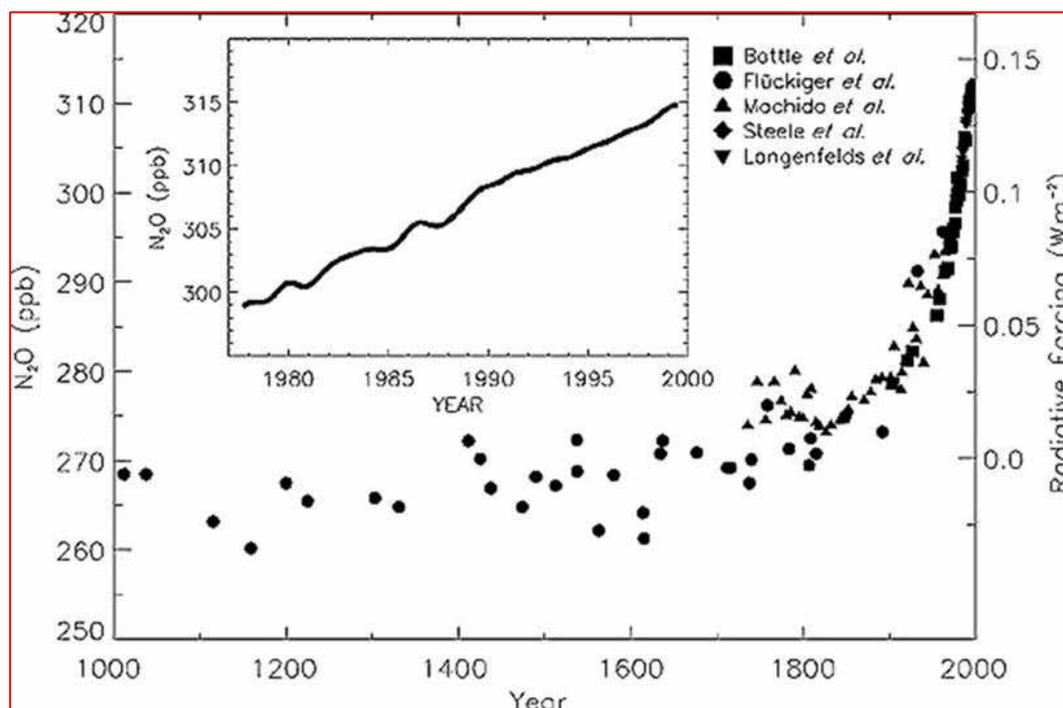
亜酸化窒素濃度

亜酸化窒素には、自然由来のものも人為起源のものも、発生源が数多く存在するため、亜酸化窒素の濃度の全体量を把握することは困難である。人為起源の発生源の主なものとしては、バイオマス燃焼、工業過程での発生、農業における窒素肥料の使用がある一方、自然由来の排出はその2倍にのぼると予想される。亜酸化窒素は最終的には成層圏で光分解によって除去されるが、対流圏では比較的長い寿命（120年）をもつため、成層圏オゾンの減少の原因ともなっている。（図5参照）

オゾン濃度

オゾンは対流圏の中層部及び上層部、また成層圏の下層部において温室効果ガスとしての作用を示す。これらの層でのオゾン濃度の変化は、太陽からの放射量と地球からの放射量に影響を与えるため、放射強制力の変化を引き起こす。大気中の全オゾンのうち90%は成層圏にあり、20～30 kmの高度に濃度もピークがある。成層圏のオゾンは酸素の光分解によって発生し、地球上の生命を紫外線の照射から保護する重要な作用がある。しかし、対流圏では、オゾンは窒素酸化物、メタン、揮発性炭化水素などの前駆物質の光化学反応によって生産される重要な大気汚染物質である。北半球の高度8 km以下の対流圏では、オゾン濃度は工業化以前の2倍に増えていると予想されているが、オゾンの分布は光化学汚染の状況により大きく変動している。

図5 氷床コアの分析による西暦 1000 年から西暦 2000 年の 1000 年間の亜酸化窒素濃度の増加 (IPCC , 2001)(地球温暖化係数 : 310)



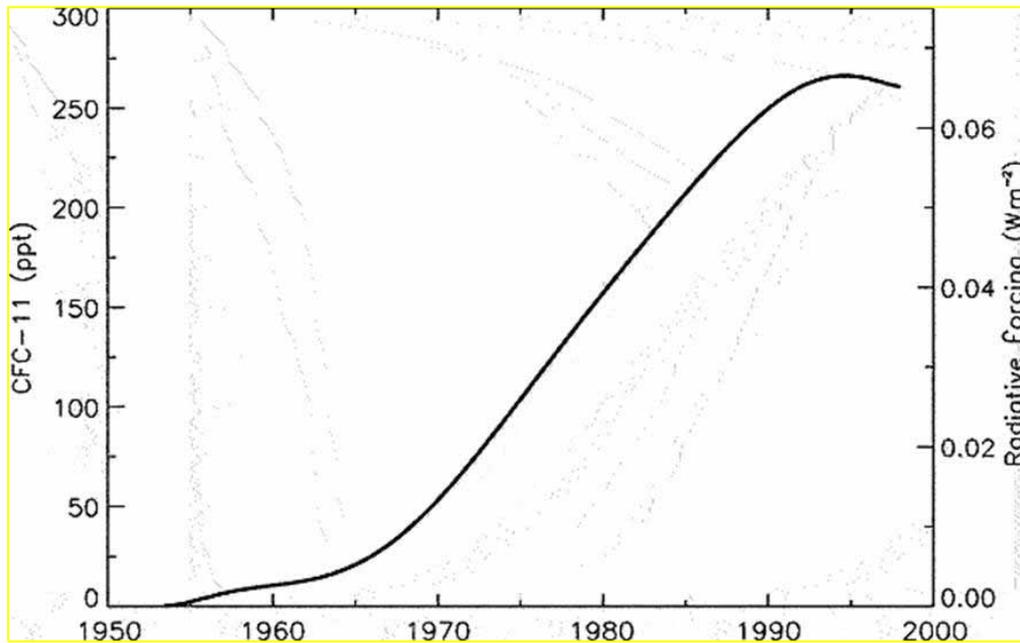
ハロゲン化炭素化合物濃度

ハロゲン化炭素化合物は、炭素、フッ素、塩素、臭素を含む人為的化合物群の総称である。クロロフルオロカーボンもこれに含まれるが、これらの化合物は主要な温室効果ガスであり、また大気中での寿命が長い。クロロフルオロカーボンは、地上レベルでは化学的に不活性であり、無害・不燃性・無臭であるため工業目的で使用され、この 20~30 年、クロロフルオロカーボンの濃度は増加している。しかし、排出量については、現在モントリオール議定書の関連案によって管理されているため、増加傾向は止まりつつある。この化合物の寿命が長いということは、少なくとも 21 世紀の間は大気中のクロロフルオロカーボンの濃度が地球温暖化の重要な要因の 1 つであるということを意味している。

クロロフルオロカーボンの代替物であるハイドロクロロフルオロカーボンは、対流圏で分解されるため、クロロフルオロカーボンよりも寿命が短い(約 12 年)。ハイドロクロロフルオロカーボンはクロロフルオロカーボンの代替物として暫定的に認められているが、この化合物は強力な温室効果ガスであり、その濃度は増えつづけているため、国際的規制が始まっている。

(図 6、図 7 参照)

図6 フロン-11 濃度の推移 (IPCC , 2001)(地球温暖化係数(PFC14) : 6500)



六フッ化硫黄

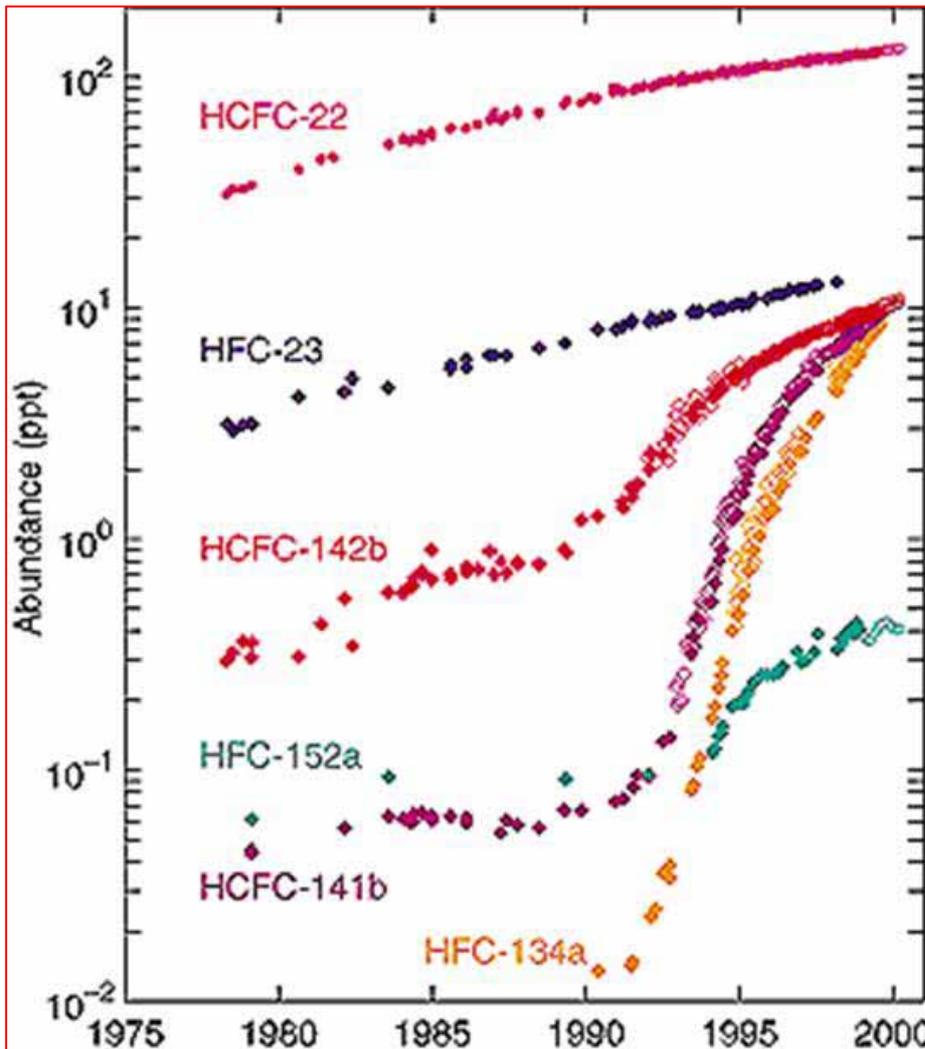
六フッ化硫黄は、濃度的には他の温室効果ガスに比べ比較的低い濃度を示している。しかし IPCC が定める人類活動に由来する温室効果ガスの地球温暖化係数(Global Warming Potential)が 23,900 であり、二酸化炭素に比べ 23,900 倍の温室効果のポテンシャルを持っている。この係数により二酸化炭素に換算した値はかなり大きく、京都議定書の目標値として無視できない重要性を持っている。(図 8 参照)

エアロゾル濃度

エアロゾルは、10 ミクロン以下の粒径を持つ大気中の浮遊粒子である。エアロゾルは、土壌粉じん、海塩、火山灰など自然発生源に由来する一方、人為起源に由来する亜硫酸ガスや排気粉じんの排出によってもかなり増加している。エアロゾルの寿命は非常に短く、大気中に排出された高度により数日から数週間の寿命しかないため、対流圏のエアロゾルは、発生した地域の上空と風下に集中する傾向がある。対流圏のエアロゾルの放射効果は、エアロゾルの粒子の粒径分布や化学組成等によって異なる一方、間接的影響として凝集核として雲形成に関わっているため、放射強制力には不確定部分が存在する。対流圏エアロゾル濃度の増加による直接的放射強制力は、世界平均として -0.5 W / m^2 である。同じ期間における間接的なエアロゾルの放射強制力は $0 \sim -1.5 \text{ W / m}^2$ の範囲と見積もられている。一方、前工業化時代からの温室効果ガス濃度の増加による放射強制力は、世界平均として約 $+2.5 \text{ W / m}^2$ である。エアロゾルの放射強制力と温室効果ガスの放射強制力は空間的に異なっているが、中国中南部、ヨーロッパ、北米等の工業地域の周辺と、大量のバイオマス燃焼が起こっている熱帯地方のように、エアロゾルが集中発生する地域では、対流圏のエアロゾルは温室効果ガスの放射強制力を相殺していると予測されている。酸性

雨や環境対策の面からエアロゾルの前駆物質の排出を抑制すると、直ちにエアロゾルによる放射強制力が低下することとなる。

図7 各種代替フロン濃度の推移 (IPCC , 2001) (地球温暖化係数(HFC134a) : 1300)

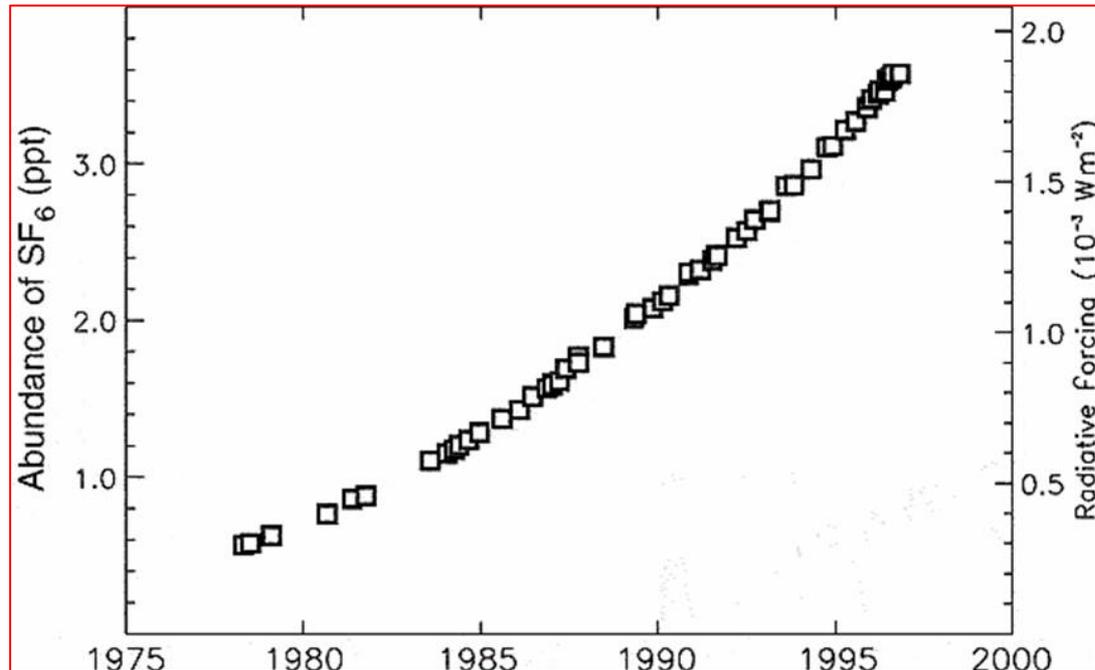


気候シナリオによる予測

生態系あるいは社会に対する気候変動の影響を評価する際には、大気と海洋の大循環モデル (G C M) や複合大循環モデルのシナリオが用いられる。これらモデルは陸地表面の作用、海と氷に関連する作用、大気及び海洋の動態の物理的法則を基礎として、三次元の地球の規準線網を用いてコンピューター解析したものである。大気の G C M の典型的な解析単位は、水平方向に 50 ~ 250 km、垂直方向に 1 km であるが、小空間的規模や局地的変化を予測する点においては、多大な不確実性を有している。気候変化の予測は、モデルを用いて気候予測のシミュレーションを行った後、気候の観測結果によって修正し、温室効果ガスの濃度のレベルに応じたモデルが作成されている。さらに、現在の気候とシミュレーションされた気候とを比較することにより、放射

強制力の要因が変化することによる気候変化を定量的に予測することが可能となる。

図8 六フッ化硫黄濃度の推移 (IPCC, 2001) (地球温暖化係数: 23,900)



温室効果ガスの排出シナリオ

将来に渡る人為起源の二酸化炭素排出シナリオは、将来の気候を予測するモデルのための重要な入力データであり、人為排出の見積り、大気化学組成、地球規模の炭素循環モデルに基づいて計算することができる。将来の二酸化炭素の排出レベルを決定する重要な要因には、人口増加、エネルギー需要、非化石燃料の利用可能性、森林への圧迫などがあり、温室効果ガスの排出シナリオに組み込まれるが、未来の世界の状況についての仮定は様々であるため、多くの不確実性が存在する。それ故現在の排出のシナリオを未来の決定的な予測としてとらえてはならず、将来の気候変化の予測に関連する不確実性の原因の中で、排出シナリオが最も重大な要因となっている。

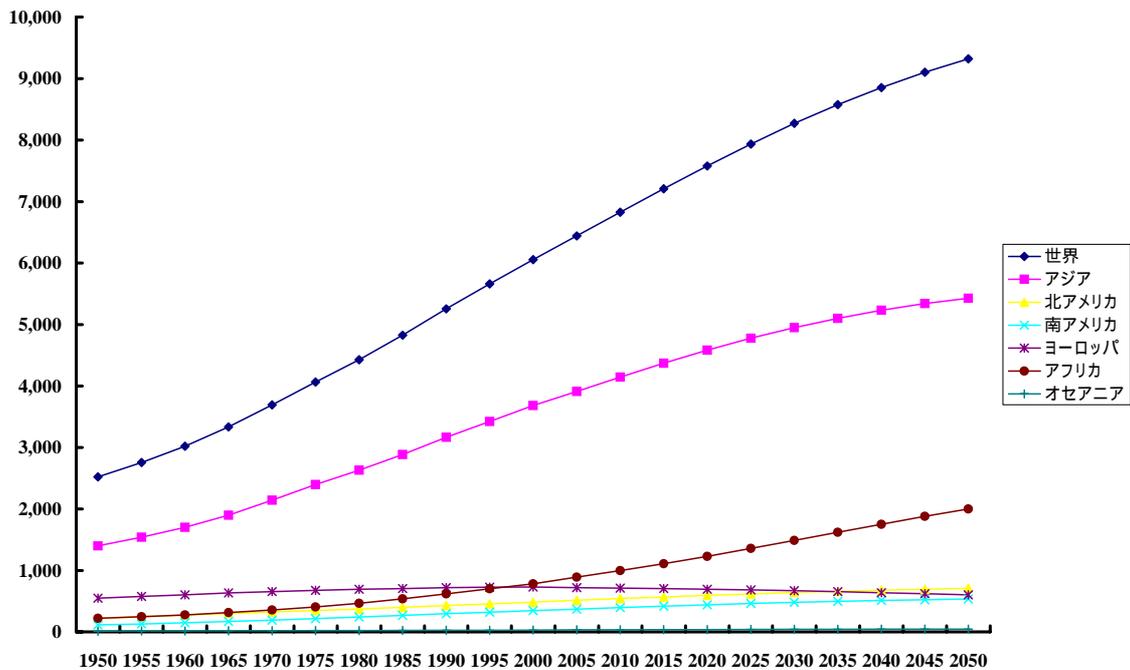
二酸化炭素放出の原因

現代は豊富な化石燃料に支えられた人類史の中でも特異な時代と考えられるが、現代の延長線上に未来があるという錯覚を払拭する時に来ている。顕在化している現象の中で、地球温暖化と石油減耗がある。いずれの問題にも安易な解決策は無く、予測の科学的正確さが問われる時期に来ている。1990年、気候変動に関する政府間協議 (IPCC) の第一次評価委員会が第一次評価報告書を発表した当時は、地球温暖化が起こることへの疑念が多くだされた。温暖化が確実に進行しつつある現在、そのような疑念は払拭されている。

南極の氷河の氷床に閉じ込められた過去の大気中のガス分析によると、産業革命以来大気中二酸化

化炭素（CO₂）濃度の増加が顕著であることが判明している。後述するように化石燃料の使用による二酸化炭素の増加は地球温暖化の主要な原因となっているが、その背景には増大する世界人口と発展する世界経済がある。現在進行し続けているエネルギー資源の大量消費と、熱帯林を始めとした森林伐採による生態系破壊が、CO₂のさらなる大量放出へと結びついている。

図9 増大する世界人口 - アジア・アフリカの人口増加が顕著（UN）



石油減耗と現代社会

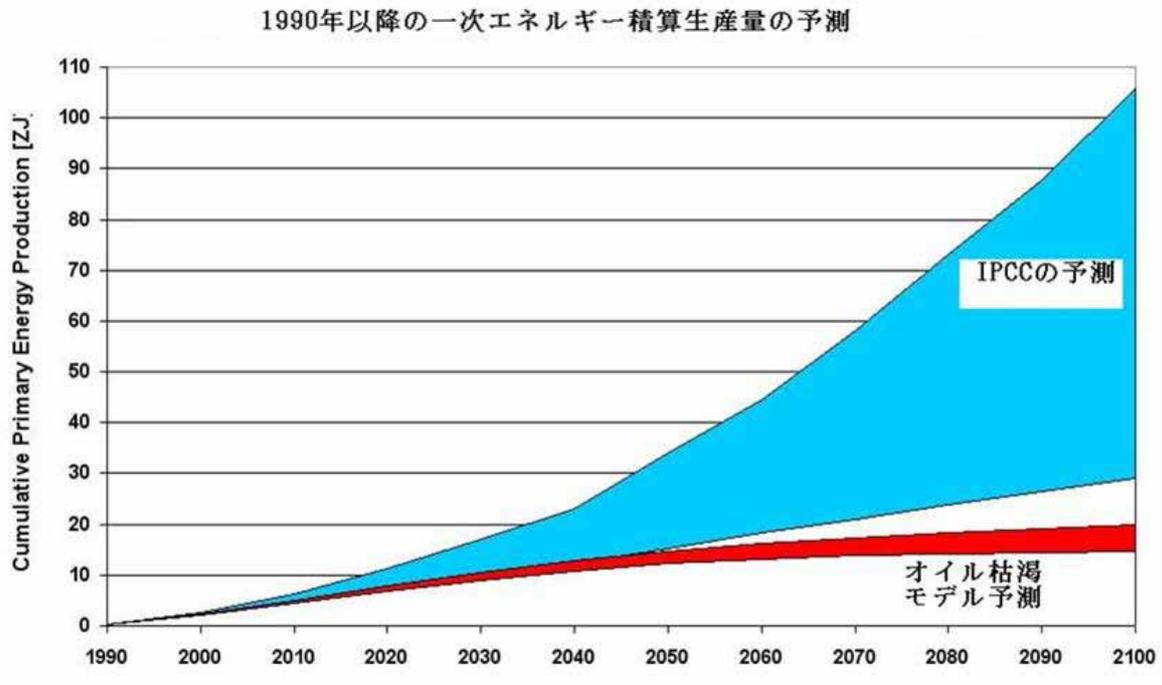
モスクワは2006年1月16日から19日までに-31度を記録し、18名の凍死者が出ていると報道されている。モスクワの寒さによる死者は、昨年10月末から計123人となり、天然ガスの需要が増加し、ヨーロッパへの輸出を削減する程の状況になっている。この寒波は、西ヨーロッパから東シベリアさらに南アジアに広がるほどの勢力を持っており、多数の人的被害と経済的被害を引き起こしている。米海洋局（NOAA）によると、この原因として北極振動により寒気が強まっていると説明している。世界的に気候が不安定化してきていることも考えられる。

この寒さに対して、ロシア当局は天然ガスの外国への供給を削減する方針を明らかにした。

石油減耗と地球温暖化という未知のリスクを避け次世代の生存環境を守ることは大切なことであり、EUでは自然エネルギーの急速な開発を進めている。日本においても自然エネルギーの拡大と省エネルギーの徹底は、総合的な意味において現世代のなし得る最善の手法と考えられる。世界各国において自然エネルギー開発が急速に進んでいるが、特にデンマーク、ドイツ、オランダを始めとしたヨーロッパ諸国において積極的な利用拡大が図られている。これら諸国では化石燃料から自然エネルギーへのエネルギーシフトを図るため、税制上の大幅な優遇処置を講じている。日本においても地方は自然エネルギーの豊富な環境に恵まれており、石油消費抑制と京都議

定書遵守のため自然エネルギーの積極的利用が緊急に必要とされている。

図 10 一次エネルギー積算生産量の増加予測 (IPCC) と石油・ガスピークからの予測 (Campbell)



世界の平均気温の将来予測

IPCC による中位の排出シナリオに基づいた予測によれば、世界の平均地表温度は 2100 年までに 3 上昇すると予測されている。気候の反応性の範囲と IPCC の排出シナリオを考慮した気候モデル全体では、世界平均気温の上昇は 1.4 ~ 5.8 の範囲になると予測されており、温暖化の速度は過去一万年の間で最も速い。また温暖化は海洋よりも陸地で促進されるため、温暖化の程度が著しいのは北半球高緯度地域であり、一方温暖化の程度が少ないのは、北大西洋と南半球である。モデルの結果は、気温が 1 上昇する毎に世界の平均降水量は約 2 % 増加することを示しているが、地域によっては日照り、乾期、干ばつが長く続く一方、地域によっては豪雨の可能性も高くなり洪水、地下水の再蓄積、土壌の浸食が起きる可能性も示唆している。また気候変化による影響は、異常な気温や降水量、台風等の激しい嵐等、異常気象の発生の予測によって左右される。現在、ほとんどの GCM のシミュレーションは猛暑の頻度の増加と極寒の日の頻度の減少を示している。熱帯のサイクロンに影響を与え、多くの地域で洪水と干ばつの発生にも影響するエルニーニョ・南方振動現象 (ENSO) は、GCM によってはまだ十分にモデル化されていないが、シミュレーション結果は、エルニーニョ・南方振動現象の頻度の増加を示している。

エルニーニョ・南方振動 (ENSO)

地球上の遠く離れた地域の気候にも影響を及ぼすエルニーニョ・南方振動 (ENSO) は、南米の

西海岸に沿ったフンボルト海流の栄養分を含んだ冷たい水が、太平洋の赤道地域から東に向かって流れる暖かな海流と散発的に入れ代わり、南米太平洋沿岸の漁場に潰滅的な打撃をもたらす現象である。エルニーニョ・南方振動現象は、地域の平均気温と降水量を変化させるが、近年頻繁かつ長期間継続するようになりつつある。最長記録としては、1990年に始まったエルニーニョ現象は1995年まで続き、遠く離れた地域の気候に影響を与えている（遠隔結合）。東南アジア、オーストラリアの一部、アフリカの一部での旱魃と、南米の乾燥地帯での豪雨と洪水は、エルニーニョの年に起こっている。また温帯では、エルニーニョ・南方振動は、カナダ西部とアメリカ合衆国北部域の暖冬とアメリカ合衆国南部の冬季降水量の増加をもたらし、世界的には、旱魃による被害がエルニーニョの年はそれ以外の年に比べて2倍に増える。このため、エルニーニョ・南方振動現象は、食糧生産への影響を主な原因として、熱帯地域の開発途上国に重大な経済的打撃を与えている。

海面上昇

世界の平均気温の上昇に伴う海洋の温度上昇の結果と山岳氷河の融解により、2100年までに世界の海面は、平均50cm上昇すると予測されている。気候変化の程度、氷の溶解の要因、シナリオ全体の幅を考慮すると、2100年までに世界の海面が9cm～88cm上昇する。温室効果ガスの濃度が安定化しても、海面上昇は今後数世紀間続くと予想されている。また南極西部の氷床が温暖化によって徐々に崩壊し、さらに重大な海面上昇を招く可能性があることも憂慮されているが、これははるか未来の可能性に過ぎないと予想されている。海面が上昇すれば、海岸地域での洪水の危険性が増し、人口密度の高いデルタ地域や小さな島々に住む人々は、最も脆弱であると予想されている。さらに大西洋・インド洋・太平洋を結ぶ海洋コンベアベルト巨大循環が地球温暖化とともに弱まる可能性が危惧されている。

地球温暖化の緩和と京都議定書

京都議定書に関しては前回詳しくふれたため概要を記載すると、現在国際合意に基づいた有効な緩和策の実行が急がれている段階である。緩和策は、温室効果ガスの発生源管理と温室効果ガスの吸収源の拡大に分けられる。二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、フロン等の排出抑制は国際的緩和策上重要である。このため農業、森林管理、エネルギー、工業、運輸等、日常生活のあらゆる分野が大幅な修正を迫られる。中心的役割を担う国連気候変動枠組条約（UNFCCC）は、現在187ヶ国によって批准されているが、各条約加盟国は、「大気中の温室効果ガスの濃度を、気候系に人為的な危険な干渉が起きないレベルにまで」安定化させようとしている。

この具体的成果が京都議定書で、1997年京都で開催された温暖化防止京都会議（COP-3）において合意されたものである。アメリカ合衆国が離脱し、その成立が危ぶまれてきたが、2005年11月のロシアの批准により、2005年2月16日成立した。これから先進国、市場経済移行国を中心に、世界各地で温暖化緩和策が積極的に取り組まれていくと期待されている。

アメリカ合衆国が離脱した上に開発途上国には現時点では目標設定がない状況での京都議定書

発効であり、温暖化緩和の効果は不透明である。しかし地球温暖化抑制という非常に困難な課題を、国際的協同により達成しようとする画期的な第一歩が始まることとなる。石油資源の主要な産出国が集中する中東は、依然として不安定なままであり、前途は決して楽観できる状況にはない。しかし温暖化を更に加速させる事態は避ける必要があり、今後とも問題は山積しているが抑制策を実行しながら考慮するしかない。

温暖化による健康影響

人の健康は平均気温の上昇と同時に、夏季の高温、多湿や乾燥のような極端な気象現象によって強く影響される。東京とシカゴの例のように、2 の気温上昇が夏季の高温に加算されると、暑熱による身体への負荷は著しくなると予想されるが、地球温暖化の直接影響としては、このような夏季の熱ストレスが重要である。熱ストレスに関しては、適応力の劣る子どもや高齢者等に大きな負荷を加えるため、その健康影響の解明が急がれる。

地球温暖化より予想される健康影響の概要を示す。地球温暖化による気温上昇と降水量変化は、健康に対し気温や湿度の変化による熱ストレス等を介した直接影響と、媒介動物や病原体の生育環境変化を介した間接影響をもたらすと予想される。温暖化に伴う気温上昇による熱中症の発生増加や熱波の増加による死亡率へのインパクトを予測した研究によると、疾病や死亡は閾値温度を超えた際に急増することが知られている。

気温上昇による熱ストレス

高温のストレスに対して、人体は体温調節中枢により熱産生系、循環系、発汗系の調節により、体温の上昇を抑制する。環境温度の上昇によりこのホメオスタシスの維持機構が破綻し体温が上昇（高体温症）すると、熱疲弊、熱痙攣、熱射病といった熱中症の症状が発現する。

猛暑の典型的事例としての熱波は、アメリカ合衆国、中国、インド等大陸性気候下において既に頻発している。1995年7月12日から16日の間に起こったアメリカ合衆国シカゴにおける猛暑の場合、この期間の日最高気温は33.9 ~ 40.0 という高温であった。このため多数の熱中症患者が発生し、うち465名が7月12日からの16日間の間に熱中症で亡くなっている。地球温暖化に伴いこのような夏季の猛暑の頻度が多くなると予想されているため、直接的健康影響である暑熱による熱ストレスが一層重要なリスク因子となる。

南京市においては、1988年の7月に熱波が襲来し、最高気温が36 を超える猛暑の日が、17日間連続したため、著しい熱射病患者の発生と熱射病患者の死亡の急増が観察されている。

熱ストレスと健康

海洋性気候の日本においては、これまで熱波に相当する著しい気象現象は起こらないと考えられてきたが、ヒートアイランド現象の著しい大都市を中心に、夏季における猛暑が著しくなりつつある。影響の著しい東京における夏季の暑熱と熱射病発生との関連について、1980年から1995

年に渡り東京消防庁の協力により疫学調査を実施した。夏季の熱ストレスによる健康障害について、日最高気温と熱中症患者発生数との関連の年次推移を検討すると、日最高気温が高い年に熱中症患者の発生が急増することが判る。詳細な解析によると、東京では1日の平均気温約 27、最高気温約 30 から熱中症患者の発生が指数関数的に増加する。また中国の南京・武漢では、平均気温が 31、最高気温が 35 を超えはじめると、熱射病患者の発生が指数関数的に急増する。夏季の気温が高いこれらの都市においては、熱中症の発生する閾値温度が東京に比べ約 4 高くなる。1988 年の南京における熱波の際の解析結果とほぼ一致し、日最高気温が 36 を超える猛暑の時期には、著しい熱射病患者の発生と熱射病患者の死亡の急増が観察されている。

代謝量を変化させながら体温調節を行う恒温動物においては、臨界温度以上の気温上昇に対しては深部体温が上昇してくる。このためヒトを含め恒温動物においては、中性温度域を境として低温側では生育温度域が広いが、高温側では生育温度域が狭い。深部体温の上昇も、その程度が比較的穏やかで短時間の場合、体温調節機構と気温とのバランスを保ちながら回復し、高体温による影響は検出されない。気象や気候変化により高い環境温度が継続するようになると、穏やかとはいえず深部体温の上昇が継続することになる。

夏季の熱ストレスは年齢により感受性が異なり、特に適応能の低下している高齢者に大きな負荷となる。このことはモデル実験でも実証され、熱ストレスに対する感受性はエイジングにより顕著な差が見られ、若齢では影響を受けない肝臓の薬物代謝系の酵素も、高齢では活性が顕著に低下する。さらに熱ストレスによる酸素ラジカル防御系酵素への影響や免疫担当臓器の胸腺や脾臓の萎縮による免疫障害が、エイジングにより顕著に影響される事実は、熱ストレスへの感受性が高齢者で著しく高くなる疫学調査の結果と併せて検討していく必要がある。

熱中症の発生予防対策を確立するために熱中症の発生場所について検討したところ、熱ストレスへの暴露状況は年令により大きく異なり、17 歳以下の学童を含む若齢者では、運動場での熱中症の発生が著しく多い。このことは、夏季の高温下での運動負荷がリスクの増加に繋がっていることを示している。また熱ストレスに対して最もリスクの高い高齢者の場合、道路上での熱中症発生が多く、高い気温下での屋外行動がリスクとなっていることを示している。さらに居室での発生もこれに次いでおり、夏季の高温下では適切な屋内空調の完備によるリスクの低減化が必要と考えられる。

熱射病の発生動向の解析に基づき、地球温暖化により夏季の気温が上昇した際の、熱中症の広がりを予測したところ、温暖化による夏季の高温は、熱中症の発生を著しく増加させる。今後、地球温暖化による地域毎の夏季の気温上昇と、その影響予測が確立できるようになると、気温上昇に備えた予防対策が可能となると考えられる。

暑熱の著しい中国の南京・武漢では、落葉樹を街路に植栽し、夏季は道路上に木陰を有効に配置し、冬季は日照を守り、自然を利用した対応策を実施して暮らしている。地表風の減衰を考慮する必要があるが、都市の緑化は温暖化防止の面からだけでなく、温暖化影響の緩和の面からも重要と考えられる。

熱ストレスへの暴露が年令に依存し、学童を含む若齢者には夏季の高温下での運動負荷が、また高い高齢者の場合高温下での屋外行動がリスクとなっている現状より、今後適切な教育、屋外環境の整備、屋内空調施設の完備等によるリスクの低減化が必要と考えられる。さらにハイリス

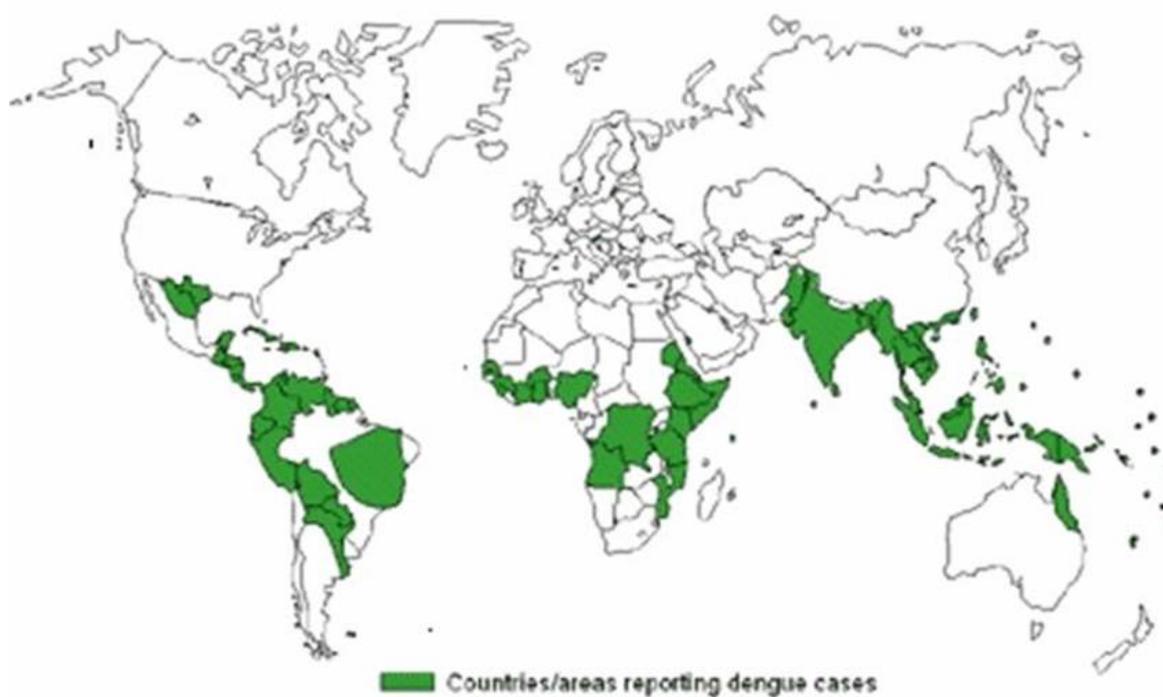
ク集団である高齢者人口の世界的な急増に対応して、暑熱による健康被害の緩和策も公衆衛生的側面と生理生化学的側面から検討される必要がある。

温暖化による気候の不安定化と熱ストレスの増強が避けられない今日、人の健康面についての温暖化影響の予測を進めると同時に、その緩和策として生理的および社会的適応を、今後の研究の中心に備えていく必要がある。同時に熱中症に対する社会教育と予防対策、発生時の救急医療体制の充実等は、リスクの低減化と重篤化の防止の上からも今後の検討課題と考えられる。

動物媒介性感染症による影響

熱帯域を中心に動物媒介性感染症は、多くの国において子供の疾病や死亡の主要な原因となっている。表2に主な動物媒介性感染症のリスク人口を示す。現在、動物媒介性感染症の分布は、媒介動物や病原体の生存能力と、都市計画、水系管理、医療活動などによる疾病予防と、媒介動物の抑制により気候的限界より狭い範囲に限られている。一方、森林伐採、農業、水源開発による局地的な環境変化は、しばしば動物媒介性感染症の新しい生息地を作り出すことになり、動物媒介性感染症の発生を急増させ、分布を拡大している。したがって、気候変化により動物媒介性感染症の分布が地理的に変化する範囲は、人間活動が局地的な生態系をいかに修正するかによって変わることになる。表2に示すように、動物媒介性感染症は、媒介動物と感染病原体の気候依存性によって分布が左右される。気候要因に加え、媒介動物防除のための環境衛生対策や治療施設の完備状況により、現実の世界における動物媒介性感染症の根絶域と分布域が規定されている。

図 11 動物媒介性感染症デング熱の世界的な拡大 (WHO, 2002)



マラリアへの影響

温暖化による動物媒介性感染症の分布拡大のように、媒介動物の生存域の変化、病原微生物の

生態学的相互関係等による影響を予測することは、より複雑な要因解析が必要とされる。現実の世界における動物媒介性感染症の根絶域と分布域は、気候要因に加え媒介動物防除のための環境衛生対策、予防対策、治療等の人間活動により強く規定されている。

地球温暖化に伴う気温、湿度、降水量の変化により媒介性動物の生態に種々の影響が及ぼされる。気温の上昇は病原媒介生物の代謝を促進するため、吸血性の昆虫はもっと頻繁に吸血するようになる。したがって、吸血回数は増加し、ひいては産卵数を増やす可能性がある。気温の変化は、分布が気温および湿度により地理的に制限されている多くの媒介性節足動物の分布にも影響を与える。これら媒介性節足動物の生理的機能は至適気温に左右されるため、最低気温の変化は節足動物の生存や越冬に大きな影響を与え分布の拡大をもたらす可能性がある。

湿度の上昇は、媒介性動物の代謝に優位に働き、ほとんどの節足動物の生存を引き延ばし、病原微生物の媒介性動物への感染の機会を増やす可能性がある。一方、湿度の低下に対しても、ある種の媒介性動物は脱水症状を補うために摂食頻度を増加させ、世代交代を促進する。降水量はまた、蚊やブユなどの媒介性昆虫については重要な要素である。これらの昆虫には水生幼虫及びさなぎの発生段階があり、繁殖場所を決定するのは降水量である。繁殖場所への降水の影響は、蒸発量、浸出量、地形、水域によって変わってくるが、多くの種は雨期後の水たまりで繁殖する。デング熱の媒介昆虫(*Aedes aegypti*)などの媒介性昆虫は都市の環境に適応しており、溜まり水の中で繁殖し、降水量には比較的影響されない。風は飛翔性昆虫の受動的な分散を助けるため、風向と風速は媒介性昆虫の分布に影響する。種々のマラリア媒介蚊(*Anopheles* 属)、ブユ、スナバエ等の媒介昆虫は風により、その生息地から何百キロも離れた地域まで分散することができる。

表2 動物媒介性感染症・結核による年間死亡数(千人)(WHO, 2002)

熱帯・亜熱帯地方における貧困と非衛生的状況による感染症 TDR (2002年現在)	死亡数 (千人)		
	総数(千人)	男性(千人)	女性(千人)
African trypanosomiasis	50	32	18
Dengue	21	10	11
Leishmaniasis	59	35	24
Malaria	1,124	532	592
Schistosomiasis	15	11	5
Tuberculosis	1,644	1,075	569
Chagas disease	13	7	6
Leprosy	4	3	2
Lymphatic filariasis	0	0	0

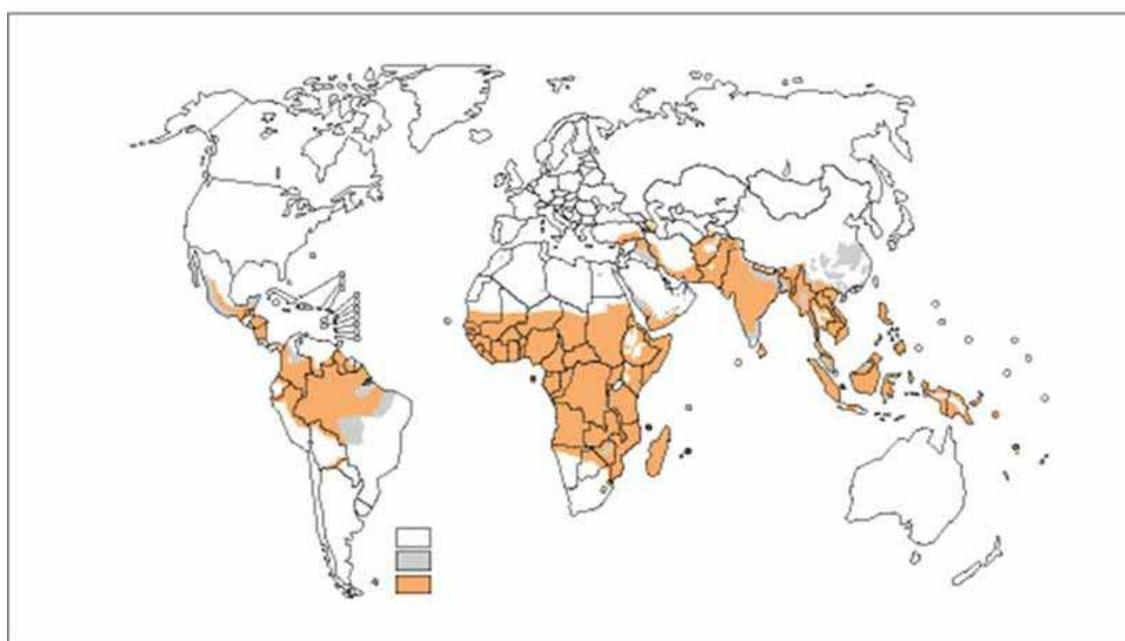
第2次世界大戦までは、アメリカ合衆国、ヨーロッパ西部及び南部、オーストラリア北部を含めた現在の先進国の大部分がマラリアの感染地域であった。現在世界中で年間約3億5千万人が新たに発病しているの見積もられている。幼い子供たちを含む100万人から200万人が毎年マラ

リアで亡くなっており、その大部分はアフリカの子供である（表参照）。

マラリアは4種類のマラリア原虫によって引き起こされる。三日熱マラリア（*Plasmodium vivax*）は地理的に最も広い範囲に広がっており、熱帯熱マラリア（*Plasmodium falciparum*）は臨床的に最も危険である。マラリア原虫は吸血性の雌の蚊によって人から人に感染する。マラリア原虫は無性の生活環の各段階を人の肝臓及び赤血球の中で完了し、それから蚊の中で性成熟し、生殖により広がる。

マラリアの抑制は、ますます困難になってきており、病気の症状は以前よりも深刻なものである。感染力の強い熱帯熱マラリアや三日熱マラリアが、クロロキニーネ剤への耐性を強めてから、化学療法の選択は狭められている。いくつかのマラリアワクチンの候補について、現在、マラリア流行地での実証試験が行われている。マラリアを制御しようという試みは、熱帯地域に広がるさまざまな社会経済要因、地理的要因、生態学的背景のために、ますます成功しにくくなる状況にある。マラリアがほとんどなくなっていた地域の多くで、病気が再発しており、時には以前の記録を上回って再発している。WHOは1993年以降、技術的可能性と経済的実現性にしがた異なる方法を、マラリアの制御のための世界的戦略として採択している。この戦略はマラリアによる死亡を防ぎ、罹患数とこの病気に関連する社会的経済的損失を減らすことを目的としている。

図 12 マラリア罹患率の高い熱帯・亜熱帯地方（WHO, 2002）



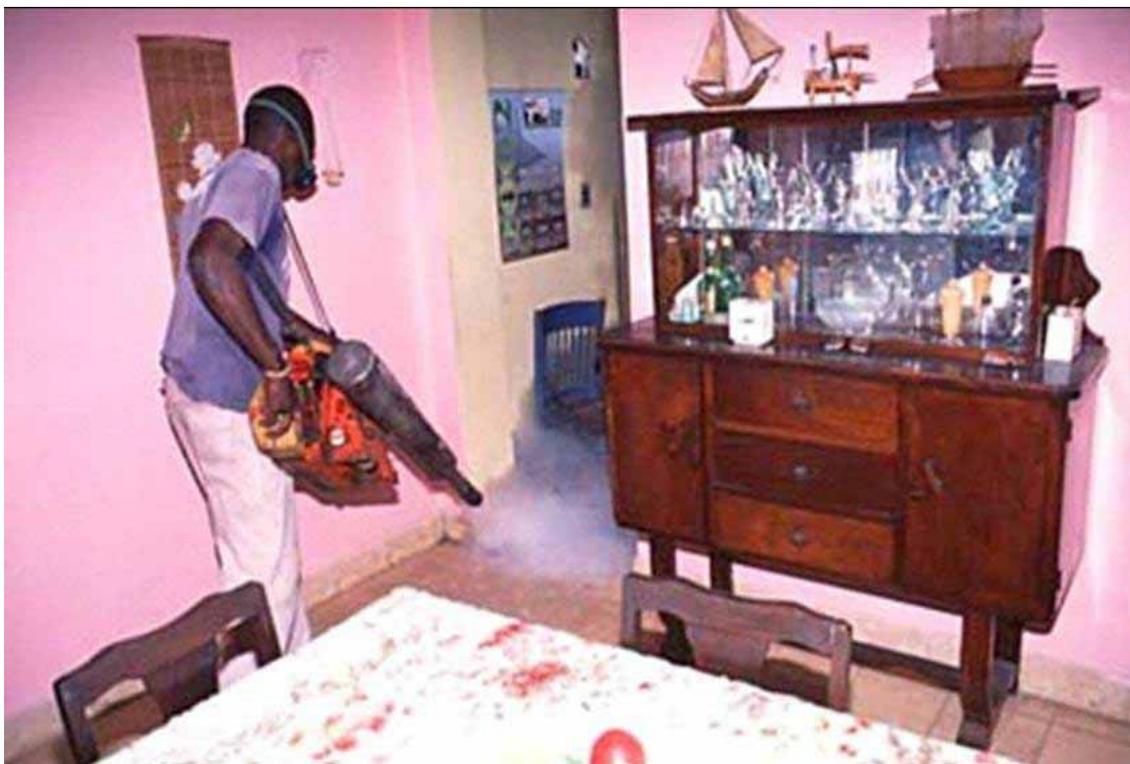
Above: World malaria situation. Malaria is endemic to tropical and subtropical regions.

マラリアの発生の原因が局地的な気候変化にあるという最近の証拠として、1987年、ルワンダで例外的に暑く降水量が多かった天候の時のマラリアの発生と、高度域への分布の拡大がある。同様にパキスタン北東部での1980年代の熱帯熱マラリアの発生の経年変化は、年毎の気温と降水量の変動と相関関係を示している。気温、降水量、異常気象は、マラリアを媒介するハマダラカの生存力と地理的分布に影響する。高緯度地域の種には寒冷な期間は屋内で生存することができるものもあるが、ほとんどのハマダラカの活動は気温が22℃を下回った時に停止する。さらに、熱帯熱マラリアを媒介する数種のハマダラカは、一般に冬季の平均気温が16～18℃

に下がると生き延びることができない。したがって、温暖化は温帯地域での蚊の生存率を増加させるかもしれないと予測される。しかしながら、蚊の生存率は高い気温では相対湿度の上昇に依存するため、降水量の増加を伴わず温暖化した場合、蚊の寿命は短くなり、熱帯地域でのマラリアの伝播は減るかもしれない。

マラリア原虫の孵化のサイクルは気温に対して反応性が高く、病気の伝播の重要な限定要因である。マラリア原虫の蚊体内での性的成長のための最適温度は三日熱マラリア原虫では25℃、熱帯熱マラリア原虫では30℃、四日熱マラリア原虫では22℃である。マラリア原虫は気温が14℃～38℃の範囲外では成長しない。三日熱マラリア原虫の感染と生殖は14℃～16℃以下で停止し、熱帯熱マラリア原虫では18℃～20℃以下で停止するため、地球温暖化による最低気温のわずかな上昇でも、マラリア原虫の孵化は、外気温により非常に促進されることになる。

写真1 媒介蚊の撲滅のための殺虫剤の屋内散布（WHO 提供）



媒介動物と原虫双方の生存率を決定するのは、第一に気温であるが、降水量も媒介動物の繁殖地の数と昆虫の密度に直接的に影響する。また、地理的分布を規定する要因として、宿主の動物の存在が重要である。マラリアの感染域はこれらの要因により変化する一方、人間の行動や医療施設の状況が、感染の拡大を左右する。熱帯地域では、環境管理とグッピー等の生物利用による抑制策や殺虫剤を使った媒介動物の制御が、感染を減らすのに非常に有効であることが知られている。逆に、感染状況の監視と予防医学策が不十分であれば、発生は増加する。（写真1参照）

マラリアの感染域の拡大に及ぼす気候変化の影響は、数学的モデルを用い、マラリア媒介蚊の気候に関連した地球規模の分布の変化の定量的な予測を行うことができる。モデルによりハマダラカの生息地の広範な変化が、媒介能力の変化とともに、明らかに世界的にマラリアの感染域の拡大をもたらす。一方、集団の中での免疫能も発症数の重要な決定要素であり、流行が多い地域

では免疫力は高い。常時マラリアが発生しない地域では、再発率の増加によって感染がより定常的なものとなるかもしれない。アフリカ東部の高地や南アメリカのアンデス地帯のような高度の高い地域では、気温の上昇が、もともとマラリアのない地域であったところを季節的な流行の起こる地域に変え、感染域の拡大をもたらすかもしれない。定常的なマラリア流行地域のすぐ外にあり、現在基本的にはマラリアのない地域である高地の都市住民の多くが、最も大きな影響を受ける。この例には、ケニアのナイロビやジンバブエのハラレなどが含まれる。

2100年までに世界の平均気温が数度上昇すると、熱帯の国々では蚊の媒介能力を2倍に増やし、温帯の国々では100倍以上に増やすとの見積もりがある。一方、温帯の国々では、病気の監視や素早い治療などの効果的な抑制手段の使用を継続することで、媒介能力が増加しても十分対応できるであろう。したがって、気候変化はこれらの国々での流行を再発させることはなさそうであるが、蚊の殺虫剤への抵抗力の高まりは媒介動物の化学的な制御を妨げる可能性もある。一方、媒介動物の殺虫剤による駆除が、殺虫剤中毒の多発を引き起こすことが知られており、温暖化対策が新たなリスクとして検討される必要性が出てきている。

表3 温暖化対策に伴うリスク - アメリカ合衆国における急性農薬中毒の監視サーベイランス

- SENSOR プログラムによる殺虫剤中毒大発生の把握やリスク人口の算出に成功した事例
- 中毒大発生の実例として、1998年に発生したフロリダ州における地中海ミバエ Medfly の駆除プログラムによる123名のマラソン中毒症の発生
- 1999-2000年に発生したニューヨークにおけるウエストナイルウイルス脳炎予防の際の491名にのぼる農薬中毒症（原因農薬：マラソン、スミチオン、レスメトリン）の発生

マラリア拡大の危険性について検討すると、三日熱マラリアのリスクは、温帯で増加すると予想されている。気候変化が起こらない場合は2100年に約5億例のマラリアの流行が予測されているが、2100年までに世界の平均気温が約3℃上昇すると、気候変化により5千万～8千万例の流行の増加が予測されている。モデル化の結果は、マラリアの感染域にある人口は、21世紀の後半までに世界全体で45%から約60%に増加することを示している。（写真2参照）

要約

地球温暖化に対する脆弱性は、社会によって大きく異なり、特に熱帯・亜熱帯の開発途上国の脆弱性が際立っている。京都議定書は温室効果ガスの抑制に焦点を絞っており、温暖化による影響への対応は放置されたままになっている。温暖化の進行が避けられない今、温室効果ガスの抑制とともに、温暖化による住民への影響拡大に対する備えが必要とされる。また同時に進む石油減耗に対しても、適応の脆弱な社会が出現すると予想されるため、今後社会の状況全体が悪化するのを予測した対応が必要とされる。

写真2 マラリアによる死亡の90%はサハラ以南のアフリカの児童（WHO提供）



謝辞

石油減耗の資料に関して、石井吉徳教授のご助言をいただいたことに、深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) Watson RT, Zinyowera MC, Moss RH, Dokken DJ: CLimate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group to the Second Assessment Report of IPCC, Cambridge University Press (1996)
- 2) McMichael AJ, Ando M, Carcavallo R, Epstein P, Haines A, Jendrisky G, Kalkstein L, Kovas S, Odongo R, Patz J, Piver WT, Sloof R: Climate Change and Human Health, WHO, Geneva (1996)
- 3) M. Ando: Risk assessment of global warming on human health. Global Environ. Res. 2, 69-78 (1998)
- 4) 入来正躬編：体温調節のしくみ、文光堂，東京（1994）
- 5) G. Macdonald: The Epidemiology and Control of Malaria. Oxford University Press, Oxford (1957)
- 6) W.J.M. Martens, L.W.Niessen, J. Rotmans, T.H. Jetten and A.J. McMichael: Potential impact of global climate change on malaria risk. Environ. Health Perspect. 103 458-464 (1995)
- 7) C.J. Campbell: Oil Crisis. Multi Science Pub. Co. Ltd. (2005)

