

# 気候変化の人類・自然生態系への影響と適応

## Impact of climate change on human and natural ecosystems

安藤 満

ANDO Mitsuru

### はじめに

#### 温暖化の主要原因の化石燃料を巡る軋轢

現在超巨大油田の集中する中東において、イスラエルのパレスチナ自治区ガザへの大規模攻撃と同地区を実効支配するイスラム原理主義組織ハマスの反撃による戦闘が始まり、停戦には到ったが長い歴史的背景を持つ中東地域の地政学的危機が高まっている。石油危機の事態は防げているが、最悪の場合世界同時不況下の世界経済に止めを指す恐れも十分予想される深刻な事態である。1月18日より停戦が実行されているが、今回の戦闘の根本原因は何一つ解決しているわけではないため、何時火を吹くか分からない緊張した状況が原油生産の心臓部で継続することになる。

機を同じにして天然ガスの集中するロシアにおいても、近隣諸国間や民族間の軋轢が生じている。厳冬期の2009年1月1日、ロシアの独占企業ガズプロムはウクライナ向け輸出価格交渉の纏れから、ウクライナへの天然ガスパイプラインを閉め、天然ガス供給を削減し始めた。1月7日にはウクライナ経由の天然ガス供給を全面的に停止した。ロシアのメドベージェフ大統領はウクライナのユーシェンコ大統領と同日夜電話会談し、「ウクライナへの割安価格での天然ガス供給や優遇策はない」と通告し、EUの仲介はあるものの解決の糸口は見えていない。ウクライナ向けのロシア産天然ガスの供給が停止したことを受け、EU諸国の天然ガス供給が不安定化すると予想されるが、既にハンガリー政府は産業向けガス供給を制限し始めている。

天然ガスを巡る両国の対立は近年引き続いており、2008年3月3日現在においても、ロシアの独占企業ガズプロムは、料金未払い問題の対立でウクライナに対し天然ガス供給を削減すると警告している。ウクライナの北大西洋条約機構(NATO)加盟に向けた動きを警戒するロシアは、2005年暮れから2006年年頭にかけて価格交渉の纏れからウクライナへの天然ガスパイプラインを閉め始め、天然ガス供給を強制的に削減するという挙に出ている。この削減のためにウクライナ経由の欧州各国への天然ガス供給も減り、記録的な寒波が襲来した厳冬期の欧州各国国民の不安を募らせた。2007年にはベラルーシ経由の石油パイプラインによる石油供給も停止している。

日本もシベリアに太平洋向けの天然ガスや石油の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、エネルギー資源供給を他国に依存することの不安定さを垣間見る思いをした方も多かったことと思う。日欧の三社が1996年から開発を始めた天然ガス田サハリン2については、2006年暮れ突然のロシア側の要求でガズプロムが事業運営の主導権を握ることになった。2008年から液化天然ガスの輸出開始が予定され、将来は日本の輸入量全体の15%を供給するとされている。ただロシアのガズプロムに主導権が渡った結果、日本への液化天然ガスの安定供給に不安が付きまとう恐れがある。

経済の好況・不況の波は原油価格と連動しており、好況の下価格上昇に見舞われた原油は、2008年7月初旬には遂に1バレル(原油単位:約159リッター)140ドル台を超える高騰に見舞われた(2008年7月初旬時点一時147ドル台)。しかしその後の米国の景気後退、特にサブプライムローン破綻によるリーマン・ブラザーズの倒産に引き続く米国の金融不安は、世界的規模に拡

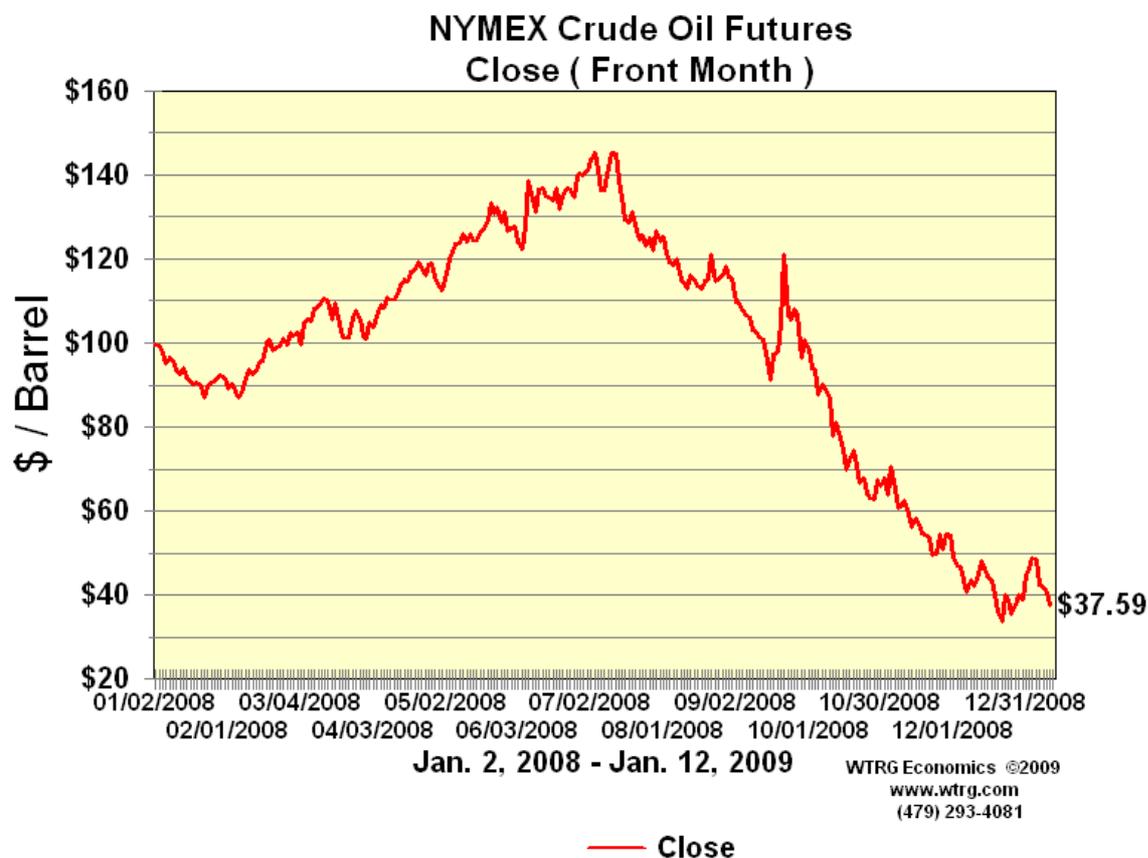
大し世界経済同時不況を招いている。利益優先の取引に走り金融恐慌の引き金を引いたリーマン・ブラザーズのフェルド最高経営責任者（CEO）は、その個人的貪欲さの故に多くの米国市民に、“Cap Greed”、“Shame”と非難されている。

因みに米国のオバマ新大統領もその就任演説の中で米国経済の混迷を捉え、この経済危機が一部経営者の“Greed 強欲さ”が原因と指摘している。

このようなグローバル経済の中での混乱は経済成長の著しかった途上国を巻き込み、世界各国の経済成長を鈍化ないし減退させている。この経済不況の進行は高騰していた原油価格に反映し、原油先物価格の急落が続いており、2009年1月初旬現在、ニューヨーク・マーカンタイル取引所の2月先物市場価格は、1バーレル30ドル台から40ドル台で推移している（因みに2003年初頭は20～30ドル）。最近のニューヨーク・マーカンタイル取引所の原油先物相場は、イスラエルのガザ侵攻にみられる中東情勢の緊張で、エネルギー供給への不安が増していることなどを受けて続伸し、指標である米国産標準油種（WTI）の2月渡しは、一時1バーレル50.47ドルまで上昇し、08年12月以来1カ月ぶりに50ドル台を回復し40ドル台戻るといふ変動の幅の大きい不安定な値動きを示している。

#### ニューヨーク・マーカンタイル取引所の原油先物相場（米国産標準油種（WTI）推移）

(WTRG Economics; James M. Williams)



現在世界各国の働きかけにもかかわらず、イスラエルとパレスチナ自治区ガザを実効支配する

ハマスとの間では、停戦を恒久化するための合意形成はみられず、巨大な産油国の集中する中東において緊張が継続している。先に述べたロシアとウクライナの対立で欧州への天然ガス供給も滞っており、世界的にエネルギー供給に対する不安が高まっている。

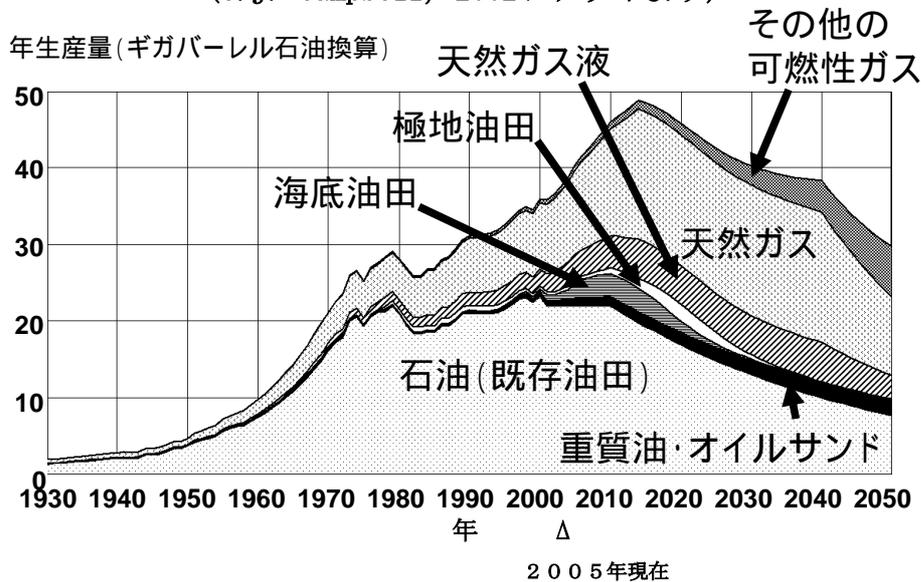
### 石油ピークと世界同時経済不況

原油価格の変動が著しい理由は、図に示すようにキャンベルやシモンズら石油関係の専門家による予測——「石油の生産ピークは2005年」「2010年過ぎには石油生産が減退し始め、2015年頃には石油や天然ガスを含むエネルギー源の全炭化水素生産が減少に転じる」が背景にある。

利用可能な石油生産と天然ガス生産の推移 (△：石油ピークの到来予想時期)

### 世界の石油・天然ガス全炭化水素生産推移予測

(C. J. Campbell, 2002シナリオより)



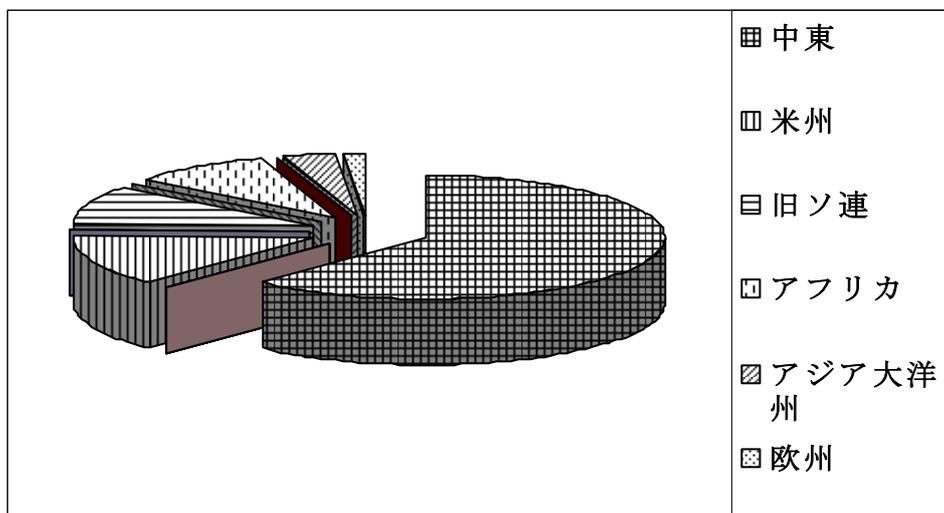
欧米の経済界には既にこの予測が浸透し、世界経済の発展に際して原油価格の高騰を導いたと考えられている。さらに複雑な事態は図に示すように、石油埋蔵量の約62%が中東に局在していることである。

急速な石油価格の高騰は、生活を直撃し生活費の増加、施設維持管理費の増大、産業や農業経営の圧迫などの影響を引き起こした。米国金融恐慌に端を発した世界同時不況は、世界的な景気減退を招き、日本においても自動車、IT関連の製造業を中心に、派遣労働者や期間工の解雇を誘発し、多数の人々の生存と生活設計を困難にしている。

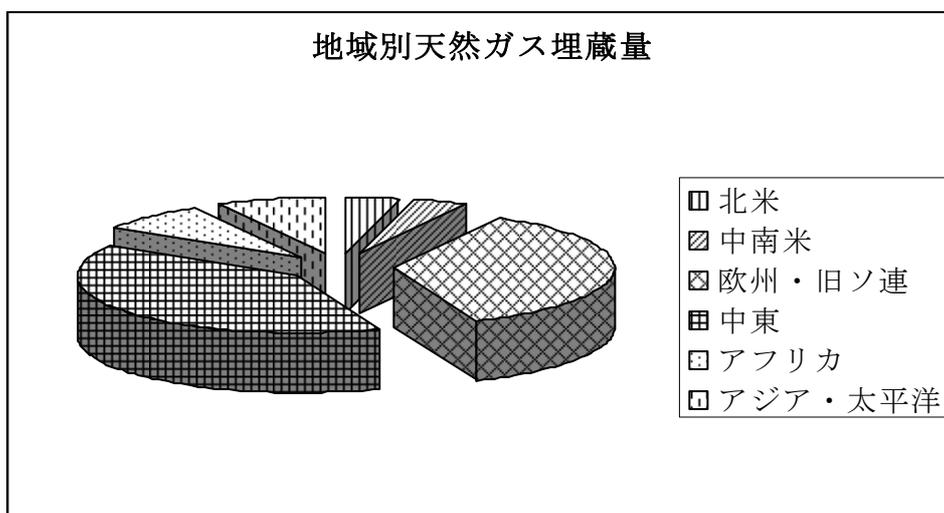
厳冬期にエネルギーの供給や生活の糧が滞ることは、欧州におけるように社会全体に起こった場合社会全体の不安、国家的存立基盤を脅かされる。個人に起こった場合個人的ではあるが極度のストレスと精神的不安へと結びつく。現実には2008年末から新年にかけて日本においても全国的に緊急の事態が起これ、政府・自治体機関が年末に窓口を閉める中、企業の収益の悪化予想により急遽解雇された多くの人々が住居から退去させられるという状況が生じていた。雇用していた人を突然切り捨てる方策は「人間は消耗品の一つなのかどうか」という人の尊厳を問う問題点と雇

用に対する社会的責任について深く考えさせられる側面を持っている。

石油埋蔵量—中東 61.9%、米州 13.6%、旧ソ連 10.2%、アフリカ 9.5%、アジア大洋 3.4%、欧州 1.5%



天然ガス埋蔵量—中東 40%、ソ連・欧州 36%、アジア 8%、アフリカ 8%、米州 8%



生産のピークを迎えた石油に代わるエネルギー資源として天然ガスや石炭利用が進められているが、いずれも化石燃料であり燃焼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、大気汚染物質と二酸化炭素の放出を急増させると予想されるため、地域環境と地球環境にとっては憂慮すべき事態になるであろう。

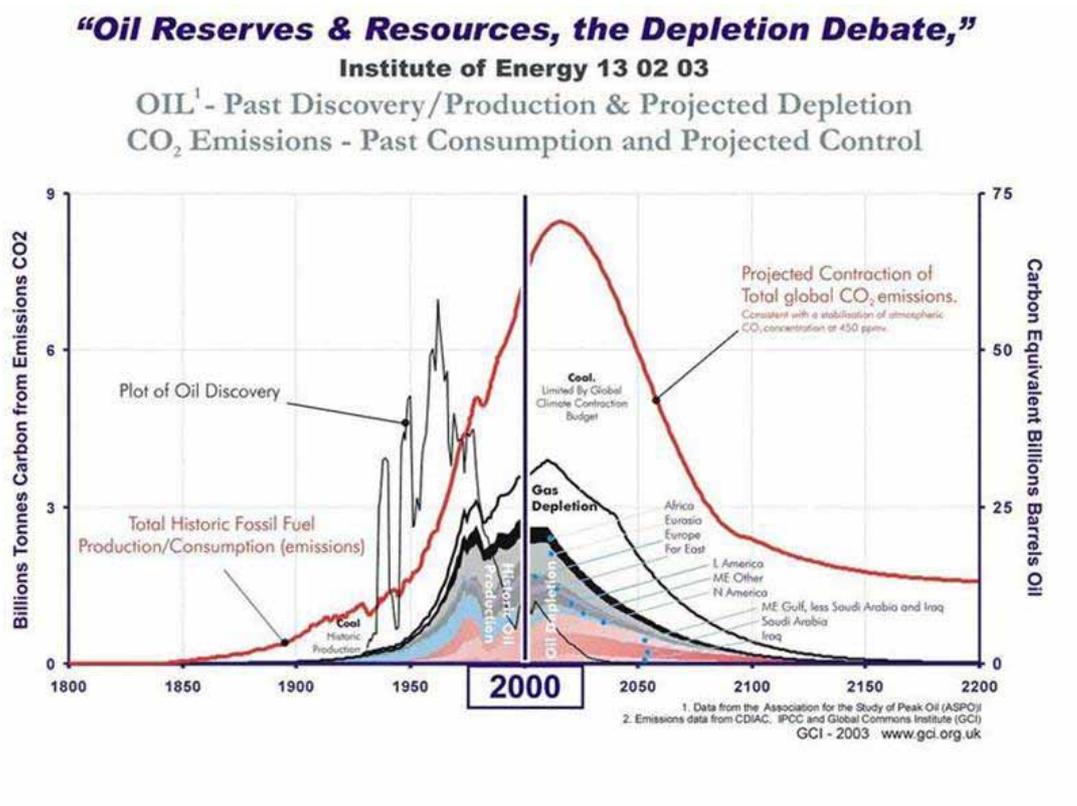
石油ピークを迎え石油需要に供給が追いつかない需給バランスのずれは、エネルギー資源の高騰を招き温暖化に対する社会的適応能力を弱める可能性が強い。このため早急な対応を必要とされている温暖化に対する緩和策は、より制限されたものにならざるを得ない。エネルギー高騰と地球温暖化はいずれも、これまで人類が経験したことのない解決の困難な課題と言える。

では化石燃料全体の全炭素排出量の推移と将来予想はどのようなものであろうか。石炭は生産

減退が身近に迫っている石油に替わり、将来の化石エネルギー全体を支え続けていけられる程余裕のある燃料資源であろうか。

図に示すように、石炭を増産しても 2020 年代には全化石燃料による二酸化炭素排出のピーク、

図 全化石燃料によるこれまでの二酸化炭素排出と今後の予想



即ち全エネルギーピークがくることが予想される。人類が化石燃料を削減し自然エネルギーに依存しつつ生存するライフスタイルを全地球的に確立する必要に迫られていることがわかる。

### 石油依存と燃料高騰

現在の農業を取り巻く環境もエネルギー依存的であり、農業機械の燃料やハウスの暖房用燃料の他、化学肥料、農薬、農業資材の原料を化石燃料資源に依存している。このため石油高騰の時期は、新設されたばかりのビニールハウスが冬季暖房の必要な時期には全く使われていない光景が見られた。立派な灯油暖房装置を備えたハウスの中に冬季野菜・果物はみられなかった。農家の苦しい事情が反映している。

日本では経済産業省を中心に「石油はまだ 40 年～50 年程はある」との意見が主流である（2008/2009 版世界国勢図会では可採年数 50.4 年と記載）。しかしこの原油埋蔵量にはカナダのオイルサンドを含んでいる。オイルサンドは原油のイメージとは程遠く、石油抽出のため天然ガスを利用しており、正味のエネルギー利益率（EPR）が低い。また液体状の原油ではないためその抽出のため広大な地域の環境汚染を起こしていると報告されている。

国際的にはこれと全く反する意見が、キャンベルやシモンズら石油関係の専門家より出されて

いることを述べた。彼らの主張が欧米の経済界に浸透し世界の原油価格高騰を招く一方、米国のイラク侵攻に見られるように、石油埋蔵量が豊富な中東の石油資源を確保する狙いが露骨である。中国の日中国境沿いの東シナ海ガス田開発問題やロシアの東欧への天然ガス供給停止問題にみられるように、最近頻繁に起こるエネルギー資源を巡る国際的な摩擦も、石油生産のピークを睨んだ各国の資源確保戦略と密接に関連している。

2009年初頭一時期世界同時不況により石油消費が落ち込み原油価格が下がってはいるが、いずれ経済の回復とともに石油消費の増大を招くと予想される。石油ピークを迎え石油需要に供給が追いつかない需給バランスのずれは、再度の石油高騰を招き温暖化に対する社会的適応能力を弱める可能性が強い。このため早急な対応を必要とされている温暖化に対する緩和策は、より制限されたものにならざるを得ない。石油ピークと地球温暖化はいずれも、これまで人類が経験したことのない解決の困難な二重苦の課題と言える。最善の解決策の適用は有り得ない程困難と考えられる一方、世界各国と地域により温暖化の影響は異なっているため、長い将来に渡る人類社会の困難に対して、適切な次善の解決策を模索する必要がある。

## 地球温暖化の機構

### —二酸化炭素排出抑制が最重要課題な理由

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きた現象である。水蒸気、二酸化炭素、メタン、オゾ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温暖化も地球の常態であったといえる。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（太陽放射： $1370\text{W}/\text{m}^2$ ）と地球断面積から求めた地球の放射平衡温度は $-19^\circ\text{C}$ であるが、実測の地球全体の地表温度は $+14^\circ\text{C}$ である。この間の気温差 $+33^\circ\text{C}$ 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。「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、温暖化は気候帯を変化させ、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、モデルによる予測不可能な部分が多く存在している。気候変化に伴う環境への影響、特に湿地生態系への影響や水の循環については、影響の大きさに比べ相互作用の複雑さの故に正確な予測は困難であり、今後の解析が必要とされる。

温室効果ガスの中で温暖化ポテンシャルの最も強力な気体は水蒸気である。先に述べたよう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である $-19^\circ\text{C}$ から、 $+33^\circ\text{C}$ の温暖化をもたらしている最も強力な温室効果ガスは水蒸気であり、その寄与度は $+21^\circ\text{C}$ と見積もられている。次に二酸化炭素であり、その寄与度は $+7^\circ\text{C}$ と予想される。オゾンの寄与度は $+2^\circ\text{C}$ である。水蒸気の寄与度は著しく大きいですが、水蒸気は既に豊富に存在し人間活動によって増える可能性は少ない。また水蒸気による雲の形成は温暖化に対する効果が複雑であるため、現在も評価研究が進められている。

現在の気候変化をもたらす主要な人為的原因は、産業革命以来の化石燃料の大量消費による二

酸化炭素濃度の増加とされている。二酸化炭素は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、放出と吸収のバランスが取れ安定した循環を示してきた。

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 1958 年に開始して以来、二酸化炭素濃度の季節変動と経年的増加が注目された。世界の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、光合成が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。その後、南極やグリーンランドの氷床中のガス分析、メタンや亜酸化窒素等他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。

### 海洋・自然環境・自然生態系への影響

既に 1906 年から 2005 年の 100 年の間に 0.74℃の気温上昇が起こっており、大陸氷河の融解や海面上昇を引き起こし、自然や社会に対する様々な温暖化影響がみられている。温暖化の影響は気温上昇のみならず、気候の不安定化に因る部分が多く、異常気象による豪雨・洪水・土砂崩れや渇水・旱魃による森林破壊が頻発している。近年ヨーロッパ全域に渡り激しい熱波が襲来することがあるが、熱波による被害を受けるのは、後述する人類社会のみではなく自然生態系も大きな打撃を受ける。ヨーロッパの熱波の際は森林火災が頻発し自然生態系が大きく損なわれている。

さらに台風・サイクロン・ハリケーン等の暴風雨については、温暖化による影響が確定されてはいないが、近年激甚被害の発生が頻発している。2008 年にはミャンマーにおいて 11 万人を超える死亡がサイクロンにより生じている。2005 年には先進国の米国において、ハリケーンカトリーナによりニューオーリンズに 1300 人を超える死者を出し、街全体が水没するという被害に対しする復旧が現在も取り組まれている程の大災害を生じている。

ハリケーンカトリーナに関しては米海洋大気局 (NOAA) が、近年の海洋の温暖化によりハリケーンの勢力が増大することを予測し、政府に詳細な警告を提出していた。さらに前クリントン (Clinton) 政権は、ミシシッピの流域が洪水に対して脆弱であるとの認識の下、ニューオーリンズの護岸補強に精力的に取り組んでいたが、ブッシュ (Bush) 政権はこの努力を無視し、護岸対策を放置していた。このため人災との指摘が強い。

海水温の上昇に伴う体積増加と山岳氷河の融解により、2100 年までに世界の海面は、平均 50 cm 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。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。

温暖化の影響の中でさらに脅威といわれるのが、全地球規模の巨大な熱塩コンベアベルト (熱塩循環 Thermohaline Circulation) への影響である。この巨大循環“大西洋—インド洋—太平洋を結ぶ海洋コンベアベルト”が地球温暖化とともに弱まる可能性が示唆されている。このコンベアベルトは表層海流と深層海流を結び地球の気候を緩和し、現在の穏やかな気候の原因となっていると指摘されている。コンベアベルトの存在を確立した米コロンビア大学や英気候研究グループ

は、コンベアベルトの停滞は世界的に急激な気候変化をもたらすと警告している。

これらのことより温暖化は極端な気象現象や気候変化に結び付く可能性が強く、その場合夏季の高温、多湿、乾燥、豪雨のような極端な気象災害や極端な高温化と寒冷化として顕在化すると考えられている。歴史的にヤンガー・ドリヤス氷期(Younger Dryas Cooling)として知られている氷期はこの機構が働き、大西洋の北米・ヨーロッパを中心に急激な寒冷化が起こったと指摘されている。その場合は全地球規模での生物の大量絶滅が引き起こされると予想され、人類の生存も危ぶまれると指摘されている。

図に「気候変動に関する政府間協議」(IPCC)の第4次報告書(2007)の温暖化予測を示す。図に示すように、温暖化による気温上昇は経済発展の程度により左右され、環境保全と経済発展を調和させた環境保全型経済(B1)の下では、21世紀末の気温は1980~1999年に比べ1.8℃(1.1℃~2.9℃)の上昇に収まるとされている。一方現状の経済成長を化石エネルギー源重視のまま持続した場合(A1F1)、気温上昇は4.0℃(2.4℃~6.4℃)にまで達するとされている。個人的にはこの経済優先の状況が続けば、化石エネルギー資源の早期減耗をもたらすため、到達する以前に人間社会が崩壊すると考えている。

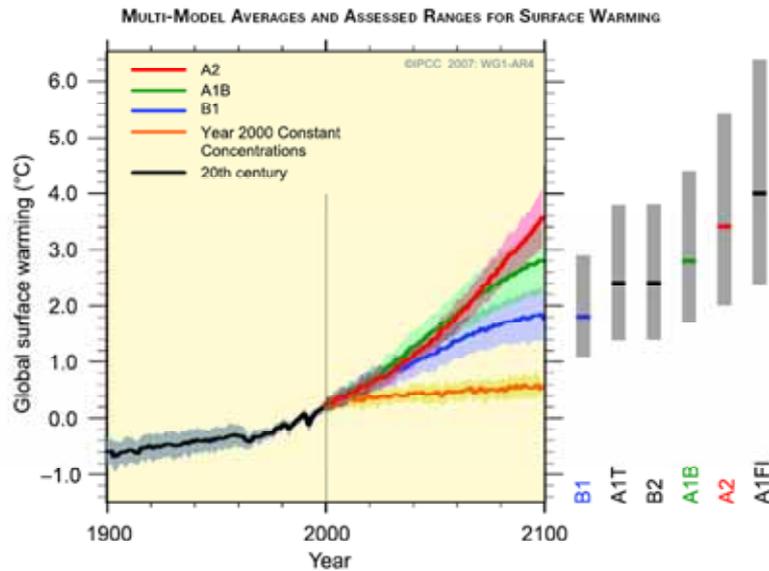
IPCCは1989年世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)を中心に国連機関と各国政府が組織し、温暖化の評価を行っている国際組織である。1990年第一次報告を公表して以来、1995年第二次意報告書、2001年第三次報告書、2007年第四次報告書まで継続して地球温暖化の問題を評価してきた。当初地球温暖化は疑問視され、温暖化に懐疑的な国や団体から報告書の草案に対して多くの疑問点が提出された。それらの疑問に答える中でIPCCの科学的評価作業に対する理解が深まり、温暖化対応に否定的であった米国も、IPCCの評価作業には参加し意見を反映する努力を行っていた。IPCCは温暖化の機構、影響、対策それぞれについて報告書を公表し、各国政府の政策に反映するよう求めてきている。長年に渡る温暖化に対する科学的評価の努力に対して2007年度ノーベル平和賞が授与された。

温暖化は海洋よりも陸域で促進されるため、温暖化の程度が著しいのは北半球高緯度地域であり、温暖化の程度が少ないのは海洋と南半球である。既にシベリアからアラスカにかけての北極海の海氷が予想を超えて減少し、このまま進行すると今後10年で北極海の海氷が消滅する恐れがあると指摘されている。このため海氷に依存した生物種の絶滅や陸域の永久凍土帯の自然生態系破壊が進むと危惧されている。永久凍土帯には湿地生態系に生存する動植物が広く分布しているため、大規模な変化が湿地生態系の荒廃に繋がる可能性が指摘されている。

### 温暖化の人の健康への影響

これから述べる「温暖化」とは、「既に温暖化している地球の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、温暖化は気候帯を変化させ、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、予測の不可能な部分が多く存在している。気候変化に伴う環境への影響、自然生態系への影響、水の大循環については、影響の大きさに比べ相互作用の複雑さの故に正確な予測は困難であり、広い視点から多角的解析が今後とも必要とされる。

図2 IPCCの温暖化予測は世界経済の成長と人口増加に依存(縦軸：気温上昇℃ 横軸：年)



**A1 高度経済成長社会**（世界がさらに経済成長を続け技術革新が進む）

A1FI化石エネルギー源重視、A1T非化石エネルギー源重視、A1Bエネルギー源バランス重視

**A2 多元的地域経済社会**（世界経済がブロック経済化し経済成長も低く環境への関心も低い）

**B1 省資源型持続発展社会**（環境保全と経済の発展を両立させる）

**B2 持続的地域共存社会**（地域の問題解決を基礎とし世界的な公平さを保つ）

先に述べたように、現在の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大量消費による二酸化炭素濃度の増加である。気候変化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。しかし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、放出と吸収のバランスが取れ循環している。

世界の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、光合成が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。日本でも国際生物学計画（IBP）の中で観測されていた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、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る。その後、南極やグリーンランドの氷床中のガス分析、メタンや亜酸化窒素等他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。

人にとっては、温暖化により夏季の最高気温が上昇すると、世界的に著しい猛暑が襲来し易くなり、温度への適応能が低下している高齢者や疾病に苦しむ方にとって大きな負担となる。資源の限界に突き当たりつつあるとはいえ、地球の過去の貴重な遺産である石油・石炭等の化石燃料の消費は、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。輸送手段の安価かつ大規模な利用とエネルギーの集中は、世界的に都市化による都市居住人口の急増をもたらした。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し、温暖化とともに都市気温を上昇させている。夏季の熱ストレスやエネルギー危機は、都市住民特

に適応能の低下しつつある高齢の住民に大きな負荷となる恐れがある。今後の対応策が急がれる所以である。

代謝量の変化による熱産生と発汗による熱放散により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は深部体温が上昇してくる。このため恒温動物であるヒトにおいては、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。しかし熱波のような気象現象や温暖化により高い気温が継続するようになると、深部体温の上昇が継続することになり住民にとって大きなリスクとなる。

熱帯や亜熱帯地方において猛威を振るうマラリアやデング熱を始めとした多くの動物媒介性感染症は、温暖化により媒介動物の生存域や病原微生物の増殖能が変化するため、感染が拡大し易くなると予想され、世界の保健衛生上重大な影響がでると指摘されている。また地球温暖化による気温の上昇や降水量の変化は、農業生産に直接影響するだけでなく作物病害虫の生存や越冬に大きな影響を与えると予想されている。一般に病害虫は生育上温暖な気候を好むため、地球温暖化は病害虫の分布の拡大をもたらす可能性が強い。冬季の低温のため越冬できなかった病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。

動物媒介性感染症の流行拡大としては、マラリアやデング熱が特に警戒されているが、流行爆発は多様な動物媒介性感染症について起こる恐れがある。最近の事例では、2007年には121名の死亡を含む3,598名の感染者を出しているアメリカ合衆国におけるウエストナイルウイルス脳炎(West Nile Virus)や、フランスのレユニオン島におけるチクングンア熱(Chikungunya cases)流行が知られている。このような先進国における事例は無論のこと、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。温暖化の進行が避けられない現在、佐久病院は地域と一体となって温暖化による災害や自然への影響に関心を深め、専門とする感染症や熱波による健康影響について調査研究を行い、住民と共に温暖化への対応策と予防医学的対策について協議して欲しい。

## 温暖化と石油危機への対応

### －自然エネルギー利用促進－

先に述べたように現代文明は豊富な化石燃料を消費することを前提とし、化石燃料に支えられた近代的輸送機関と高度工業化社会の生活を確立してきた。現代に生存する人類は、その現実に慣れ化石燃料が尽きることがないとの妄想の下で暮らしてきた。石油については今後とも大油田が発見され、日本近海にも存在するメタンハイドレートは膨大なエネルギー源となると喧伝されてきた。しかしこれらのことは人間の欲望に根ざした幻想であり、現代文明は人類史の中でも特異な時代に確立したと考えられる。その現代社会が作り出したのが、顕在化しつつある地球温暖化と石油減耗であり、その背景には増大する世界人口と発展する一方急激に不安定性が増している世界経済がある。

温暖化は単純に平均気温の上昇という形で現れる訳ではない。最近の事例では、2006年1月16日から19日にかけてモスクワは $-31^{\circ}\text{C}$ を記録し、18名の凍死者が出たと報道された。この寒波

による凍死者は10月末から年始にかけて計123人に上り、天然ガスの国内需要が増加し、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た。米海洋局(N OAA)によると正確な科学的機構は不明であるが、この原因として北極振動により寒気が強まったと説明している。世界的に気候が不安定化してきている証拠と考えられる。この寒波を教訓に、ロシア当局は必要な時は天然ガスの外国への供給を削減する方針を明確にしている。

このように今後益々供給が不安定化する上に温室効果ガスの主要排出源となる化石燃料に替わり、再生可能エネルギーの利用を促進する必要がある。石油減耗と温暖化という未知のリスクを避け次世代の生存環境を確かなものとするため、欧州連合(EU)では急速な自然エネルギーの開発を進めている。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適応策と考えられる。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転換を図るため、自然エネルギー利用について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、太陽、小水力、バイオマス等の自然エネルギーの豊富な環境に恵まれており、石油消費抑制と温暖化抑制—京都議定書遵守のため、農村社会を中心に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。

自然エネルギーにはエネルギーとしての価値の無いものもあり、エネルギー転換を図る際には、エネルギー利益率(EPR)に配慮する必要がある。EPRは、“利用するエネルギー”を“取り出すのに必要とされるエネルギー”で割ったもので、1.0を下回るエネルギーは“利用価値の少ないエネルギー”とされる。穀物やトウモロコシ、大豆を原料としたバイオエタノール生産はまさに“利用価値の少ないエネルギー”に相当するとされている。

現在の農業は農業機械、肥料、農薬、ビニールハウスに至るまで、完全に現代石油文明に依存している。温暖化が進行し石油高騰が身近に迫っている中、深刻な影響を受ける農業生産をどのように支えるのか世界的に大きな課題となりつつある。石油に全面依存している日本は、輸送コストと石油製品の価格が高騰していった場合、食糧価格の高騰に見舞われる可能性があり、食糧の地域自給率を向上させるのは緊急の課題である。EPRより考えると日本の場合一般の自動車用燃料としてではなく、農業用の自給エネルギーとしてバイオエタノール生産を考える必要がある。

風力は偏西風の卓越した欧州では非常に優れた自然エネルギーであるが、山岳地帯の多い日本においては詳細な風況調査を行い風力の安定した地域を見極める必要がある。その一方風力発電の技術的進歩は著しく、欧州では10年前主流であった1000kw級の発電機が、現在は3000kwから5000kw級へと格段に技術進歩している。このため世界的には最も有望な自然エネルギーの一つと考えられている。日本においても風況の優れた地域については、環境デザインに配慮しながら積極的な利用を図る必要がある。

水力発電についてはダム式発電が注目されてきたが広域の環境破壊を伴うため、地域住民を始め環境保護活動に携る多くのNGOから「脱ダム」による環境保全の要望が強く出され、進まなくなりつつある。しかしダムを必要としない小水力やマイクロ水力についての技術開

写真 鹿児島県野間岬ウインドパーク発電所（九州電力：300kW/基 10基）



発が著しく進んだ現在、水資源の豊富な日本においては有望な未開発の自然エネルギーである。日本アルプスを近くに控える岐阜県、富山県、長野県は全国第一位から第三位の包蔵水力占める水力の豊富な県である。小水力発電はその多くが未開発であるため、今後有望な自然エネルギーとなると考えられるが、特に農村においては遍く存在する農業用水の活用が課題となる。

写真 長野県軽井沢町リゾートホテル自家発電用 70kW 小水力発電



さらに太陽光、太陽熱、バイオマス、地熱等の多様な自然エネルギーの利用拡大が必須とされる。太陽光については、日本は2005年まで世界一の発電量を誇っていたが、自然エネルギーへ手厚い保護を行っているドイツが太陽光発電を急拡大し、現在はドイツが世界一を占めるようになっている。このような自然エネルギー利用の遅れに対して、日本政府は2008年洞爺湖サミットにおいて、2020年に現在の太陽光発電の10倍の発電施設、2030年には40倍の発電施設の実現を公表した。

地熱については、日本には多くの火山帯が存在するため、地下に豊富な熱源が存在する。地熱発電に用いられる熱源は高温である必要があり、温泉の熱源とは異なり地下深部に存在する。慎重な探査に基づいた地熱発電の開発は、付近に存在する温泉との競合は無いと考えられているが、生活を支えている温泉熱源への影響について強い不安が出されている。また国立公園のような環境保護地に地熱が豊富なため、環境省や自治体の環境部局が評価の中心的役割を果たしながら、環境デザインに十分配慮し慎重に開発を進める必要がある。

それに加えて家庭・事業所における徹底した省エネルギーの実行が必要とされている。自然エネルギー利用は石油ピーク問題と地球温暖化問題が同時進行する中、益々大きな意味を込めて語られるようになってきている。

#### 写真 阿蘇くじゅう国立公園八丁原地熱発電所（九州電力：日本最大 110,000kW）



農業生産にとって最も重要な降雨量についての予測は非常に困難で、予測結果は未だ不確実である。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、同時に気温上昇により蒸発量が増加するため地域によっては日照り、乾期、干ばつが長く続く恐れが強い。水資源はその97.2%は海洋に存在し、氷状態の2.1%を除くと、淡水として利用可能な資源量は0.6%~0.7%の僅かな資源である。一方地域によっては集中豪雨の可能性も高

くなり豪雨や融雪による洪水、土壌の浸食が起きる可能性も示唆されている。また気候変化は異常な気温上昇や降水量増加、台風等の激しい暴風雨の襲来等、異常気象の発生頻度の増加を伴うとされているが、その正確な予測は困難である。現在ほとんどのシミュレーション結果は、猛暑の頻度の増加を示しており、熱波現象による作物被害に十分警戒し対処する備えが必要とされる。

## 京都議定書と温暖化抑制

地球温暖化の対策として国際合意に基づいた有効な緩和策の実行が急がれるが、人為的発生が増加している温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、フロン、代替フロン、六フッ化硫黄）の発生源把握と温室効果ガスの吸収源の拡大を行い、その排出抑制に取り組む必要がある。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。危険な干渉の一つとして「地球規模の海洋大循環の停滞」が考えられるが、もし「海洋大循環の停滞」起こったら、取り返しのつかない気候変化へ突き進む恐れがあると指摘されている。

枠組み条約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、2004 年 11 月のロシアの批准により、2005 年 2 月 16 日成立した。批准した先進国、市場経済移行国を中心に、温度差はあるものの世界各地で温暖化緩和策が取り組まれている。

その一方アメリカ合衆国が離脱した上に、経済成長と化石燃料消費の著しい開発途上国、特に中国やインドには現時点では目標設定がない状況での議定書発効であり、温暖化緩和の効果は不透明である。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ではあるが、米国のイラク侵攻やイスラエルのガザ侵攻にみられるように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、国際合意の前途は決して楽観できる状況にはない。

## 温暖化への人類の適応の可能性

人はホメオスタシスの機構が発達しているため気候へ適応する能力が高く、世界中に遍く生存域を広げている。しかしながら前述したように高温への適応は生理学的に困難な面を持ち、人の健康は夏季の高温・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。温暖化とヒートアイランドによる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ため、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。熱ストレス下での熱中症の発生増加や熱波の増加による死亡率の増加を予測すると、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。

猛暑の典型的事例としての熱波は、既にヨーロッパ、アメリカ合衆国、中国、インド等大陸性気候下において頻発している。2003 年 8 月前半の 2 週間、ヨーロッパ各地においては猛暑が甚だしく、熱ストレスによる健康被害と高温下の乾燥による山火事の多発が報告された。特に記録的猛暑に襲われたフランスにおいては、熱ストレスにより高齢者の死亡が相次ぎ、8 月中の死亡者数は 14,802 名に上ったと報告されている（ヨーロッパ全体では約 37,000 人の死亡）。

日本における熱中症の発生について図に示す。夏季最高気温の上昇は、日本においても熱中症発生急増をもたらす。このため年齢・性差について詳細な解析を試みた。

熱中症全体の発生動向は日最高気温の上昇につれ増大することが分かる。高温への順化能は年齢により変化することが知られているため、年齢階級別のリスクを検討した。その結果熱中症の発生場所は年齢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とが判明した。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。

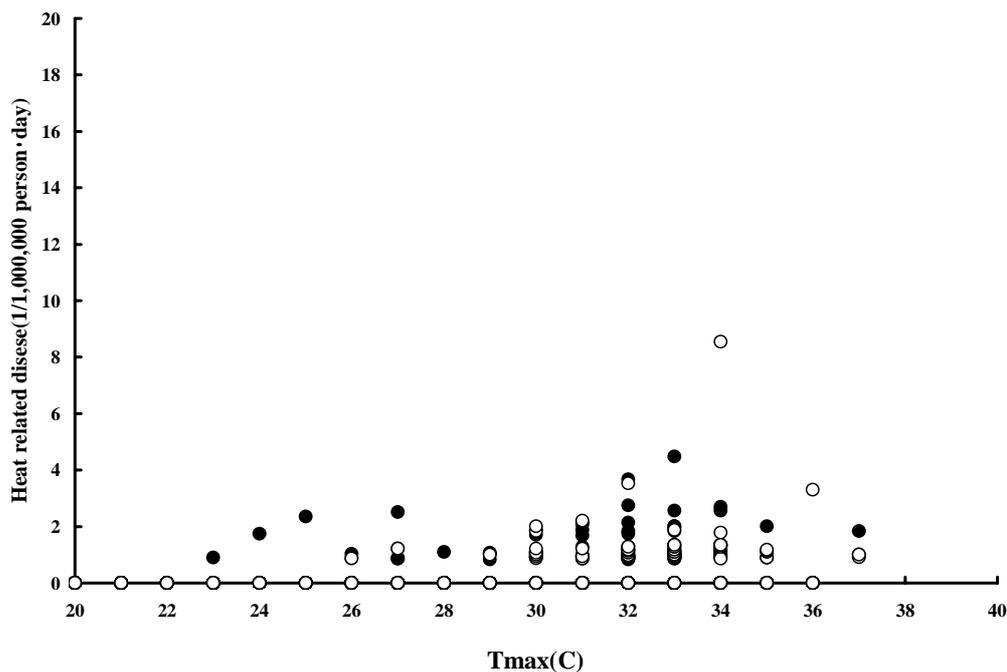


図 東京都の日最高気温（横軸）と0歳-14歳の熱中症発生動向（縦軸） 女兒（○）、男児（●）

生理的順応性の高い労働年齢については、熱ストレスに対する適応能が優れていると考えられ、健康へのリスクは低いと予想されていた。しかしながら特に男性については、熱ストレスのリスクが高く、適応能に限界があることが予想される。この年齢においては性差が顕著であるため、行動的適応が重要なことを示唆している。

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。

日本における熱中症の発生動向は、東京を始め全国的に類似していることが判明した。しかしながらアジアモンスーン気候下における動向が、類似しているかについては新たな調査研究を必要としている。文化的差、生活習慣の違い、労働環境の格差、住居条件の変化が反映する可能性があるためである。

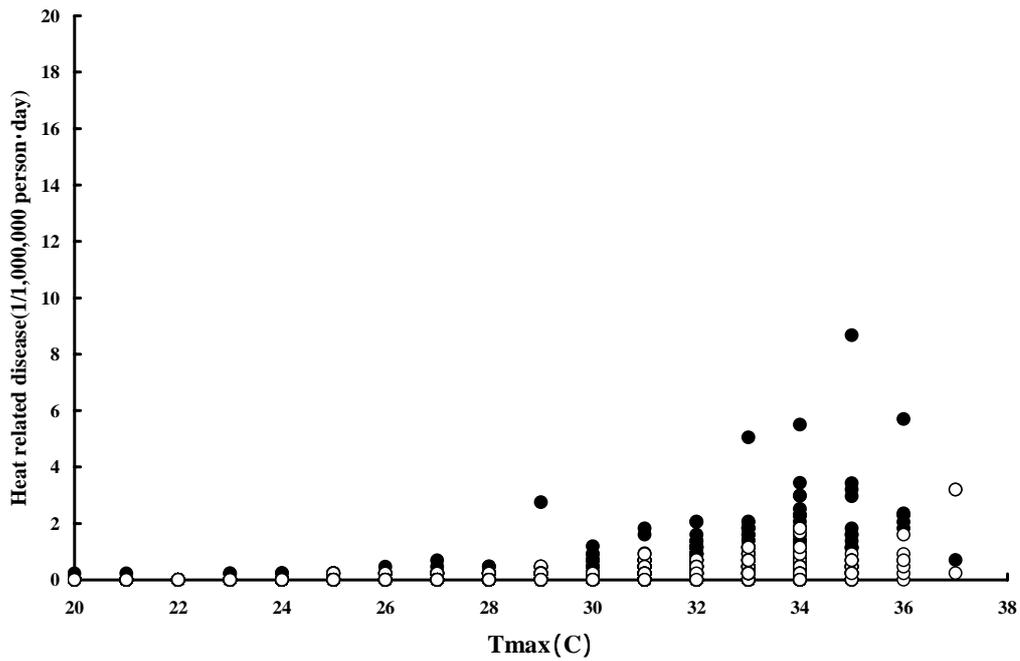


図 東京都の日最高気温（横軸）と15歳-64歳の熱中症発生動向（縦軸） 女性（○）、男性（●）

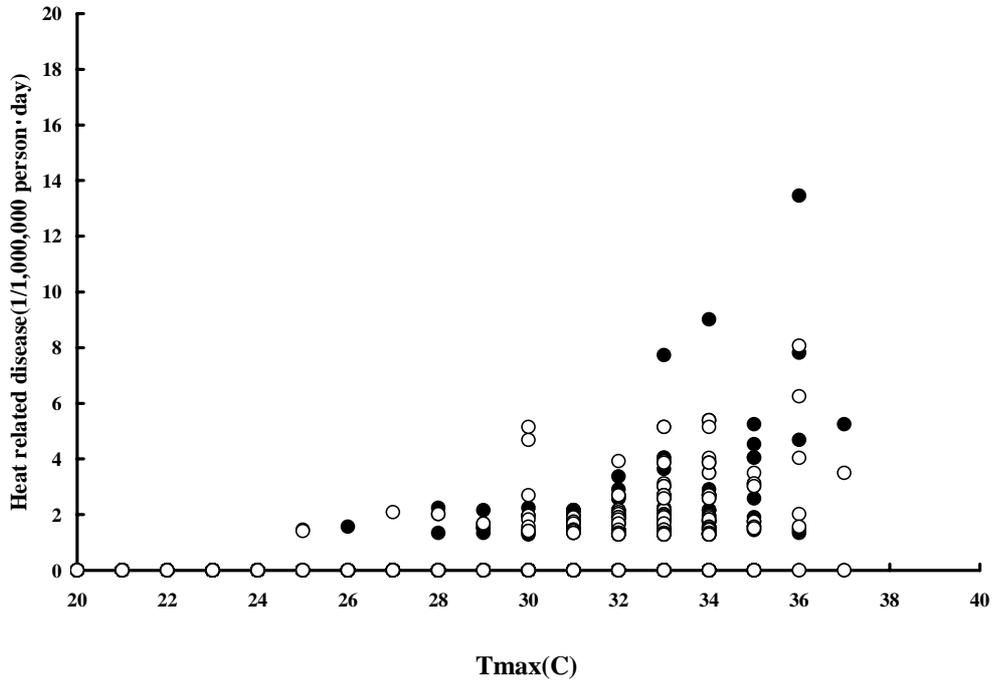


図 東京都の日最高気温（横軸）と65歳以上の熱中症発生動向（縦軸） 女性（○）、男性（●）

このため夏季高温による熱中症発生のリスクが高い中国南部の都市、武漢を選定し、夏季の日最高気温と熱中症発生率の影響を日本の東京都と中国の武漢市について国際比較検討した。

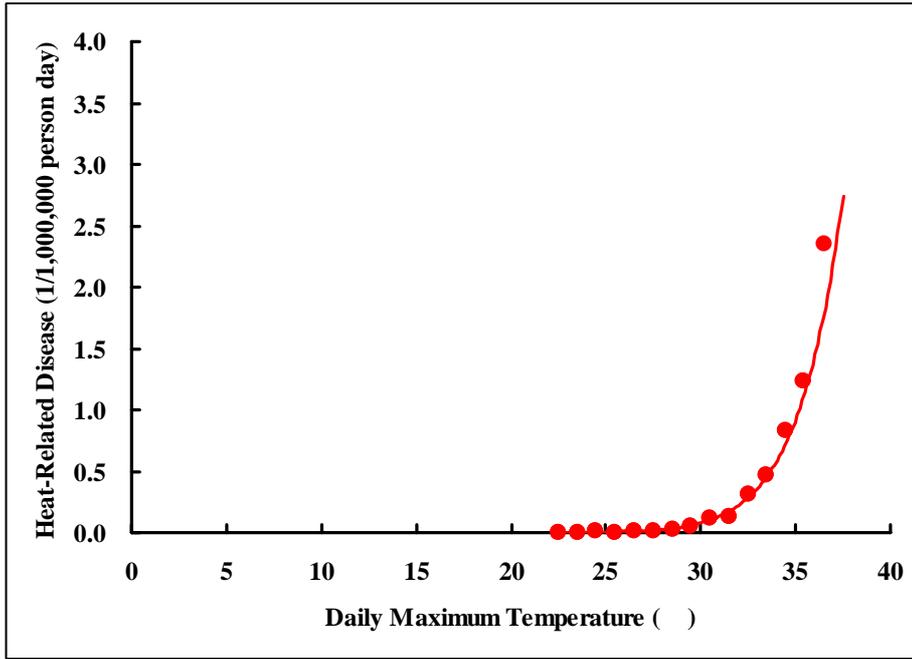


図 日本東京都における夏季最高気温と熱中症発生の相関

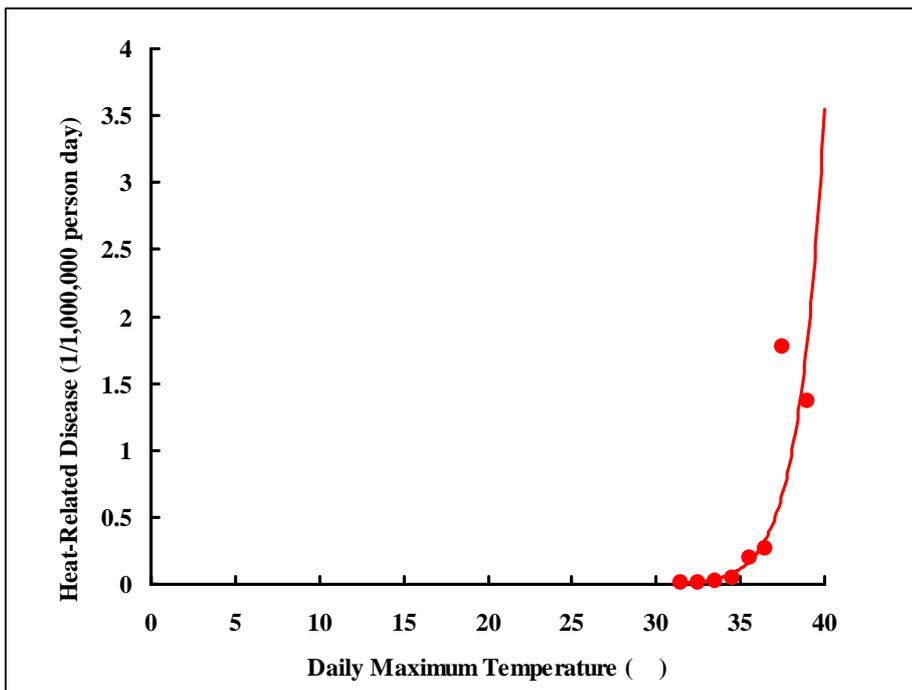


図 中国武漢市における夏季最高気温と熱中症発生の相関

熱ストレスの影響は年齢により差があり、学童を含む児童には夏季高温下での運動負荷が、また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。今後地域毎にきめ細かな教育、情報の普及、屋外環境の整備、屋内空調施設の完備等によるリスク低減化が必要と考えられる。日本・中国とも高齢化社会の進展に伴い、暑熱による健康被害の予防対策について地域活動として取り組む必要がある。中国の方が日本より温度適応が出来ているが今後研究すべき重要課題である。

## 社会的適応と警戒すべき感染症・健康問題

熱ストレスは幅広い健康影響を引き起こしており、人の免疫系も熱ストレスにより脆弱になることが知られている。図に示すように、日最高気温の上昇とともに、肺炎に罹患する患者が増加している。肺炎は感染抵抗力の落ちた高齢者や患者においては重篤化しやすく、死因別死亡率も比較的高い感染症である。温暖化の進行とともに今後警戒すべき感染症と考えられる。

フランスやシカゴで被害が広がった理由は、猛暑下の屋内で倒れた高齢者の発見が遅れたのも原因の一つとされている。災害時の都市における孤独な死亡に学び、農村社会において地域交流を基礎とした保健活動を築き上げることが課題となっている。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の影響を予測すると同時に、その緩和策として生理的および社会的適応を、今後の地域活動の中心に備えていく必要がある。同時に熱中症に対する教育と予防対策、発生時の救急医療体制の充実等は、地域社会のリスクの低減化と重篤化防止の上からも今後の課題と考えられる。

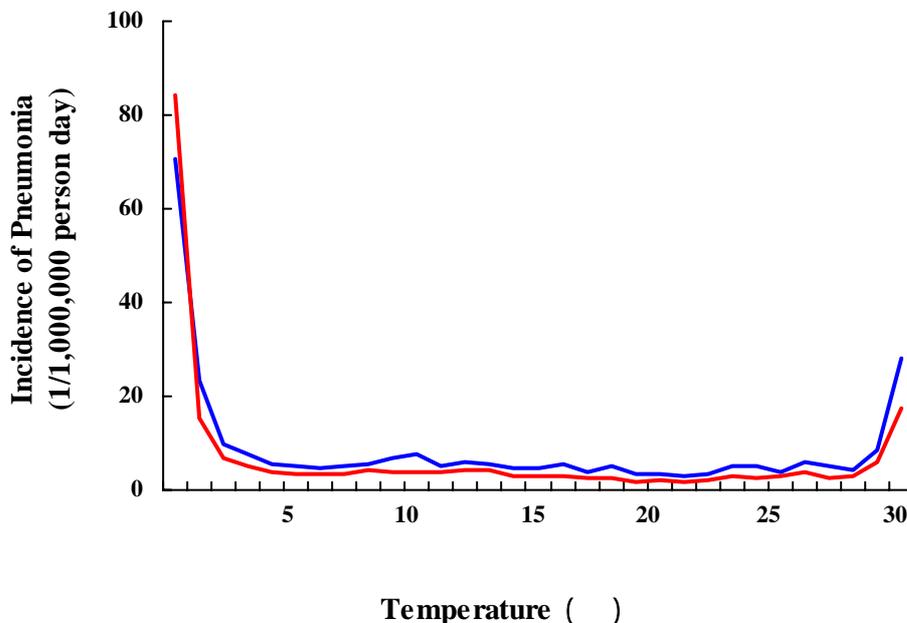


図 東京都の日最高気温（横軸）と0歳-14歳の肺炎発生動向（縦軸） 女兒（○）、男児（●）

## 最善の適応策について

既にローマクラブとレスター・ブラウンが、市場経済に従い資源の限界を無視した経済成長一辺倒の生き方は行き詰まり、人の社会は無論のこと地球生態系は崩壊せざるを得ないとの考えを打ち出している。地球温暖化と石油ピークを吟味すると、人類社会の崩壊を止めるためには、地球の限界を認めた生き方に切り替える必要性が出てくる。ただ現人類が限界を認識できるほど賢い動物かどうか、残念ではあるが今のところ確信が持てない。国内外に市場経済万能の考えが蔓延っているためである。現にアメリカ政府は環境保護の観点から制限していたアラスカの天然ガスや石油採掘を、幅広く認める方向へ転換している。環境の危機を招き資源の制約を無視した市場経済万能の考えは改めなければ人類の未来はない。

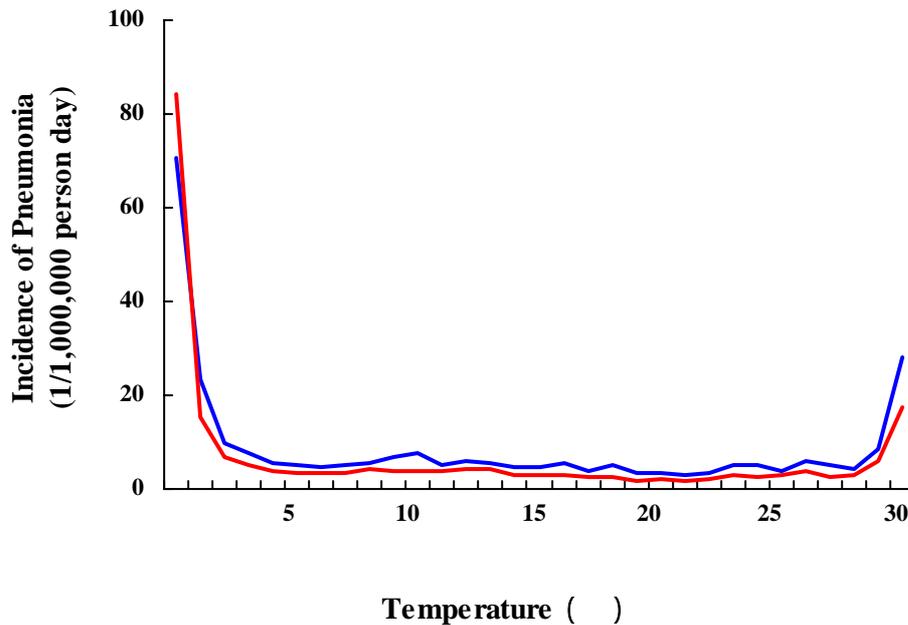


図 東京都の日最高気温（横軸）と15歳-64歳の肺炎発生動向（縦軸） 女性（○）、男性（●）

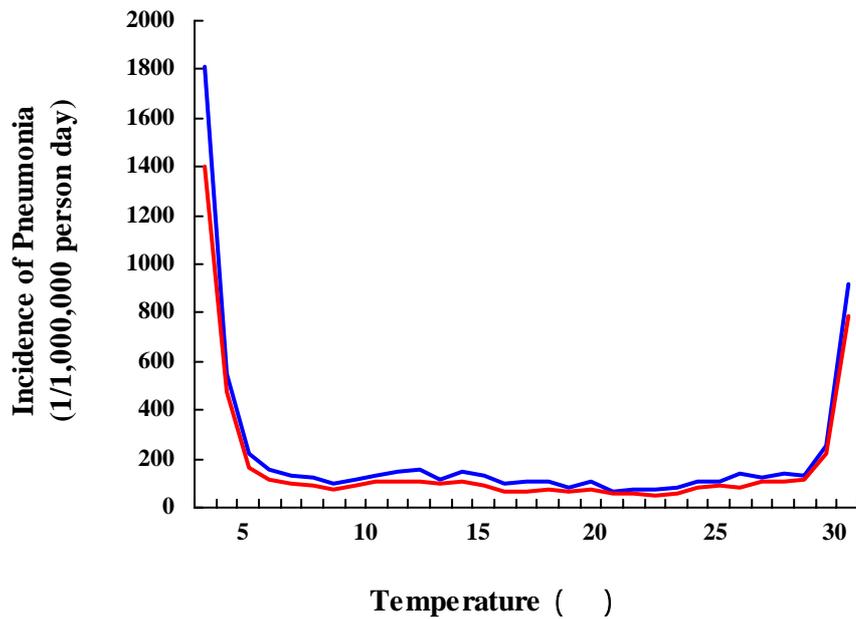


図 東京都の日最高気温（横軸）と65歳以上の肺炎発生動向（縦軸） 女性（○）、男性（●）

人類は生態学的には、食物連鎖のピラミッド上の高次消費者を占める位置にあり、その人口は絶対的に一次・二次の生産物（穀物、魚介類、畜産物）に依存している。人口増加に伴う食糧需要の増大は、穀物と家畜を増やす農業の発明と発展に結びつき、食糧生産を支えるための人口増加を促してきた。地下資源としての化石燃料の発見と採掘は、工業と農業への化石エネルギー利

用を促進し、生産性を飛躍的に伸ばすことにより人口の爆発的増加を支えている。その一方で消費需要の拡大が模索され、工業生産や農業生産を担う国際的大資本は、日本における農業のように脆弱な産業の息の根を止める方向に進んでいる。現代社会全体が規模拡大に伴う生産・貯蔵・輸送に係わる化石エネルギーへの過度な依存を生んでおり、このような化石燃料への依存が拡大する螺旋サイクルの形成に終止符を打つ道を模索しなければならない時期に来ている。

---

従来の経済活動を維持→高度成長は地球の再生許容量を認めない

⇨地球の環境バブル経済の崩壊

持続可能な経済状況に改革→人口・化石燃料・資源の消費抑制

⇨自然エネルギーによる地球再生

“現人類は限界を認識できる賢い動物か？”

⇨現代文明は自らに成長抑制を課した経験が無い

---

現人類は成長の限界を認識できる賢い動物か？

—適応の限界—

温暖化と石油危機が並行して進行し、世界的に不安定性が増している中で米国のサブプライムローン破綻によるリーマン・ブラザーズの倒産に引き続く米国の金融恐慌が顕在化した。米国の金融恐慌は直ちに世界的規模に拡大し、現在世界経済同時不況を招いている。

利益優先の取引に走り金融恐慌の引き金を引いた多くの金融資本は、第一義的責任を持っており、その経営者は厳しく指弾されていかねばならない。その代表的人物であるリーマン・ブラザーズのファルド最高経営責任者（CEO）は、その個人的貪欲さの故に多くの米国市民に、“Cap Greed”、“Shame”と非難されている。

2009年1月20日就任した米国のオバマ新大統領も、その就任演説の中で米国経済の混迷を捉え、この経済危機が一部経営者の“Greed 強欲さ”が原因と指摘している。

このようなグローバル経済の中での混乱は経済成長の著しかった途上国を巻き込み、世界各国の経済成長を鈍化ないし減退させている。日本においても自動車、IT関連の製造業を中心に、派遣労働者や期間工の解雇を誘発し、突然解雇され年末の寒空に住居から立退きを迫られるという事態を招いた。

これらの人々を迎え入れた「派遣村」活動は、直近に解雇された人達の他、以前解雇されホームレス化した人々の支援に貢献したと考えられる。しかし米国オバマ大統領が就任式直前ホームレス支援施設を訪れ、ボランティア活動したこととの対比を考えると、日本の政治・経済の指導者やメディアの一部の意識の遅れが際立っている。日本においても今後苦しい社会情勢が引き起こされると考えられるが、多くの国民の緊急支援と自治体を中心に新たな就職や再出発への取り組みが行われつつあることは人間の社会転換の可能性について淡い希望の持てる事態である。

## エネルギーと地球温暖化の危機に際してー

本論文で取り上げた地球温暖化・石油減耗への対応は、石油依存、自動車依存の現代文明やライフスタイルのあり方を変える話であり、大きくは地域社会を将来に向け化石燃料依存から自然エネルギー依存に変えていく活動である。石油の 99.7%を輸入に頼る資源の乏しい日本では、高齢化社会を迎え危機的な医療と福祉への長期投資が必要であるが、その過程に石油ピーク後のエネルギー高騰が立ち塞がる恐れが強い。

期を一にして進む温暖化に対する脆弱性は社会の発展段階によって大きく異なり、特に高齢化の進んだ社会における脆弱性が際立っている。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、温暖化による高齢者、病気を抱えた患者、ホームレスなど社会的弱者の健康影響拡大に対する政策的備えが必要とされる。

地域社会の自立に向け、環境、医療、福祉、地域経済、農業に夢のある将来像を構築する取り組みに加え、石油ピークと温暖化への地域における備えを強め地球環境に貢献する未来像を地域毎に独自に創造する必要がある。地域の環境デザインとして自然エネルギーと省エネルギーのビジョンを積極的に採用し、地域の環境を保全していく姿勢を鮮明にしていく必要が高くなりつつある。その具体化として、

- 1) 石油ピークと温暖化を見据えたエネルギー・環境問題についての真摯な検討
  - 2) 家庭・職域における省資源・省エネルギーの実践
  - 3) 太陽光発電・小水力発電・風力発電など地域に適した自然エネルギー利用の急拡大と実行
  - 4) エネルギー・環境問題に関する感性の向上
  - 5) 住民一体となったエネルギー危機・温暖化への対応
  - 6) 農村・農業の脱石油化の取り組みと地産地消の支援
- など幅広く取り組む必要がある。

21世紀は環境の世紀といわれるが、それほど環境が危機的になっている裏返しでもある。人は環境の一部であるが、環境を破壊する能力もあり守る力も備えている。環境の認識は人の感性に依存する部分があり、環境の変化により様々な生命が危機に曝される事態が起こった時、危機を感じる人材を育てる必要がある。人の存在が地球にとって益々負担になっていく現在、環境を大切に感じ地球の異常を適切に受け止める人が、地域活動を通じて広がることを望みたい。環境を劣化させることで最も影響を受けると予想されるのは、幼い子供や未来の世代である。若い世代を守るのは大人の責任であり、深刻化する地球環境とエネルギー問題に全世界の地域社会が住民とともに取り組む姿を期待したい。

## 謝辞

石油減耗の資料に関して、もったいない学会石井吉徳会長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) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : Climate Change 2007-The Physical Science

Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press (2007)

2) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : Climate Change 2007- Impacts, Adaptations and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press (2007)

3) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : Climate Change 2007-Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press (2007)

4) 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)

5) M. Ando: Risk assessment of global warming on human health. Global Environ. Res. 2, 69-78 (1998)