

温暖化による影響緩和の環境デザイン

—温暖化抑制のための自然エネルギー利用拡大への取り組み— Impacts of Global Warming and Environment Design for Mitigation

安藤 満、Soren Hermansen(Samsø Energi-og)、伊藤よしの(グループエコアイランド)、
浅沼信治(日本農村医学研究所)

ANDO Mitsuru, Soren Hermansen, ITOH Yoshino, ASANUMA Shinji

はじめに

地球温暖化はその背景に増大する世界人口と発展する世界経済があり、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伐採等の生態系破壊が、二酸化炭素(CO₂)の大量放出へと結びついている。現在世界各地で測定が行われている大気中へのCO₂蓄積は、後述するように1958年の観測開始以来この40年間に渡り増加し続けている。

気候の人為的温暖化を引き起こす最大の要因は、現代の人類活動に起因するCO₂、メタン、亜酸化窒素、ハロゲン化炭素(フロン、代替フロン)、六フッ化硫黄など、温室効果を示す微量気体(温室効果ガス)の大気中濃度の増加である。なかでも急増する世界人口を支え、工業の発達と農業の近代化・機械化を進めた石油・石炭・天然ガス資源の燃焼によるCO₂の発生急増が主要な原因となっている。特にCO₂の人為的増加の原因となっている石油は、20世紀初頭より現代に至るまでエネルギー資源の中で最も重宝されてきた。

エネルギー資源の中で最も重宝される石油の世界的消費は1950年以降急増し、キャンベルの「オイルピークの研究」によると、2000年から2004年頃には、ついに石油埋蔵量の半分を消費するに至り、10年後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と予想されている(Campbell, 2002; 石井, 2004)。温暖化が進み環境が悪化する中で、人類の発展を支えてきた主要なエネルギー資源の生産が減少する状況に直面することになる。

確実に枯渇へと進むエネルギー資源ではあるが、その燃焼は主要な温室効果ガスのCO₂を生成する。CO₂は生物が呼吸により放出する正常なガス成分であり、進化的スケールの変動は著しいが、地球規模では植物の光合成による吸収と生物呼吸による放出のバランスの上で安定してきている。CO₂は植物にとって必須の栄養成分のため、不確実性はあるが燃焼による増加の約半分は、植物や海洋により吸収される。吸収されないCO₂は大気に蓄積し大気中濃度の増加に結びつくため、その温室効果により地球温暖化が進むことが予想される。

ハワイマウナロアにおける継続観測の結果、1959年316ppmvを示していた大気中CO₂は、この40年間に渡り平均して年1.5ppmv(0.4%)増加し、2002年には1959年に比べ18%増加し、過去42万年で最大とされる373ppmvに達している(Keeling and Whorf, 2003)。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などCO₂以外の温室効果ガスのモニタリング、大気-海洋-陸域間の循環モデル(GCM)によるシミュレーション結果等から、大気中CO₂の蓄積が加速し続けるとその温室効果により地球温暖化が予測される事態に至っている。現在地球温暖化は、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。影響の及ぶ範囲が極端に広いため幅広い学問分野からの解析が必要とされる。

温暖化による気候変化の予測と影響評価のため世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)は各国政府と協力し、世界中から専門家を募り「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」を組織した。IPCCの第三次報告書(2001)による温暖化の将来予測に関しては、石油を始めとするエネルギー資源の枯渇の問題もあるため、予測に不確実さを伴っているが、表1に示すように少なくとも今世紀前半に関しては、今後地表気温は継続的に上昇し、2050年時点には全球平均で0.8°C~2.6°Cの気温上昇があると予測されている。気温上昇に伴い降水量の変化や気象の不安定化が起こるため、淡水資源に依存する自然環境や農業生産は、地域によっては著しい影響を受けると予想されている。

また温暖化に伴う海面上昇により、低地への塩水侵入や浸食の拡大による農耕地の消失により、多くのデルタ地帯で人口移動が必要となると予想されている。上位予測である1mの海面上昇が起こった際には、低地への塩水侵入や浸食の拡大による農耕地の消失により、ベトナムで1710万人、バングラディッシュで1480万人など、多くのデルタ地帯で人口移動が必要となると予想されている⁴⁾。気候変化や生態系の破壊により今後世界的に農業生産の不安定化が進むと予想されており、増大する人口を支えるための農業のあり方が危惧されている。日本を含め国際的にも、現代の農業は石油に過度に依存しており、石油資源の枯渇が進む中で現代農業を持続させていくことは困難と考えられる。

表1 CO₂排出シナリオによる世界人口・CO₂濃度・気温変化・海面上昇の予測 (IPCC, 2000; 2001)

年	世界人口 (億人)	CO ₂ 濃度 (ppm)	気温変化 (°C)	海面上昇 (cm)
1990(基準年)	53	354	0	0
2000(確定)	61	367	0.2	2
2050(シナリオ)	84-113	463-633	0.8-2.6	5-32
2100(シナリオ)	70-151	478-1099	1.4-5.8	9-88

IPCC の第三次報告書(2001)によると、地球温暖化は既に起こっており、20 世紀の間に全球の地表温度は、 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 増加したと結論付けられている。今後とも一層の気温上昇予測されており、温暖化による地域社会への影響が徐々に広がってくると考えられる。特に 1990 年代以降、世界的に温暖化の現象が顕著になりつつあり、1990 年代は過去 1000 年の中で最も温暖な 10 年間であったことが判明している。1998 年には、これまでの観測史上最高の年平均気温が観測された。このような急速な温暖化により近年冬季の積雪の減少、急速な氷河融解や雪解けによる洪水、夏季における頻繁な猛暑や早魃が記録されている。

特に人の健康や生態系への影響の著しい夏季の気温に関しては、世界各地において夏季の猛暑発生の増加が報告されている。今夏も (2003 年 8 月前半の 2 週間)、ヨーロッパ各地における猛暑が甚だしく、熱ストレスの増強による健康被害や高温下の乾燥による山火事の多発が報告されている。特に 40°C を超える記録的猛暑 (最高気温 42.6°C) 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 名に上ると報告されている。近年日本においても夏季の猛暑による健康被害が報告されている。IPCC の報告 (2001) や WHO の報告 (1996) においても、夏季の猛暑の頻度が増加すると予想されており、温暖化に伴う夏季猛暑下の熱ストレスによる健康影響が重大と考えられている。

感染症は現在でも人の死亡の大きな原因となっている。表 2 に世界の主要な感染症による死亡数を示す。結核は日本においても大きな脅威であるが、夏場に発症する事例も多い。結核以外は、中間宿主の動物が媒介する動物媒介性感染症である。動物媒介性感染症は、気温や降水量に大きく依存するため、温暖化による影響を受けやすい。動物媒介性感染症は、熱帯・亜熱帯地方や開発途上国で猛威を振るっている感染症である。

温暖化により、熱帯・亜熱帯地方で猛威を振るうマラリアやデング熱等の動物媒介性感染症の拡大が危惧されている。コレラや赤痢を始めとした下痢症は現在も多くの人命を奪っているが、温暖化が乾燥化を進めた場合には、淡水源の不足による下痢症の広がりも予想されている (McMichael, et al. 1996; Ando, 1998)。マラリアはハマダラカ属 (Anopheles) の媒介蚊の生存域の広がり、吸血や繁殖行動、病原体のマラリア原虫の生存等感染に及ぼす影響発現過程は複雑である。このように間接影響の発現過程は複雑であり、正確な評価を行うためには環境衛生状況と地域住民の健康影響の関係を解析し、気温上昇に伴う健康リスクを精査する必要がある。

温暖化による将来の健康リスクの評価を行うためには、現在観測される猛暑の際に発生する健康リスクを解析し、環境温度と健康リスクの関連性を明確にする必要がある。夏季猛暑下の熱ストレスに対しては、人は適切な生理的馴化を示す一方、適応破綻により健康障害を生ずる場合がある。気温との因果関係が明確な疾患である熱中症は、季節的には夏季の高温下において多発し、適切な対応がなされない場合は重篤化する事例も発生しているため、温暖化に伴う熱中症発症のリスクに関して検討が必要である。

夏季猛暑の影響

1990 年代以降、世界的に温暖化の現象が顕著になりつつあるとされているが、日本においても近年冬季の積雪の減少や夏季における頻繁な猛暑が記録されている。IPCC の第三次報告書 (2001) によると、地球温暖化は既に起こっており、20 世紀の間に全球の地表温度は、 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 増加したと結論付けられている。今後とも一層の気温上昇予測されており、温暖化による地域社会への影響が徐々に広がってくると考えられる。

特に健康や生態系への影響の著しい夏季の気温に関しては、世界各地において既に夏季の異常高温の発生の増加が報告されている。今夏も (2003 年 8 月前半の 2 週間)、ヨーロッパ各地における猛暑が甚だしく、熱ストレスの増強による健康被害の多発が報告されている。特に 40°C を超える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 月中の死亡は 14,802 名に上ると報告されている。

表2 世界の主要な感染症による年間死亡数 (WHO, 2002年)

主要な感染症	死亡数(千人)		
	全体	男性	女性
アフリカトリパノゾーマ症	50	32	18
デング熱	21	10	11
リューシマニア症	59	35	24
マラリア	1,124	532	592
住血吸虫症	15	11	5
結核	1,644	1,075	569
シャガス病	13	7	6
リンパ性フィラリア症	0	0	0
オンコセルカ症	0	0	0

一方日本においては、2003年夏季は記録的冷夏とされているが、インド洋に端を発したとされる1994年の記録的猛暑以来、近年日本においても夏季の異常高温による健康被害が報告されている。IPCCの報告(2001)やWHOの報告(1996)においても、このような夏季の高温による健康のリスクが予測されており、温暖化に伴う夏季の熱ストレスによる健康影響が重要課題の一つと位置づけられている。

温暖化による熱ストレス等の直接影響に加え、熱帯・亜熱帯地方で猛威を振るうマラリア等の動物媒介性感染症の拡大や、淡水源の不足による下痢症の広がりも予想されている。このような健康への間接影響の発現過程は複雑であり正確な評価を行うためには、環境衛生状況と地域住民の健康影響の関係を解析し、気温上昇に伴う健康リスクを精査する必要がある。

温暖化による農村社会への影響としては、熱ストレスによる人の健康影響のみではなく、家畜等の動物への影響も重要である。2001年の猛暑の際は畜産農家への影響が大きく、各地において家禽や家畜の死亡が報告されている。特に乳牛のホルスタインは、熱ストレスに弱く猛暑の際の被害を大きくしている。また猛暑の際は、鶏の産卵数や牛乳の生産量も減少しており、畜産農家の経済にも大きな影響を与えている。

今後の温暖化の進行により、農業への影響、海面上昇に伴う沿岸域の浸食や塩害の影響、自然生態系への影響、洪水・干ばつ等の自然災害による影響などが予想されている。このため農村社会への影響について、今後詳細な影響予測を行う必要があると考えられる。

さらに気温との因果関係が明確な疾患である熱中症は、世界的に夏季熱波の際の異常高温下において多発し、適切な対応がなされない場合は高齢者を中心に多数の死亡事例が発生すると報告されている。日本においても夏季の暑熱の厳しい時期に各地において発生しており、温暖化によりリスクの増加が予測されている。

熱中症のリスク

日本をはじめ温帯の先進国では、熱帯地方で猛威をふるう動物媒介性感染症や下痢症が拡大する危険性は少ないが、温暖化により夏季の熱ストレスによる影響が深刻になると予想される。特に代表的熱ストレス疾患である熱中症は、今年8月のフランスの熱波被害のように、世界的にも発生の多発が目ざされている。日本においても近年猛暑の際に、全国各地において熱中症が多発している。

人は地球全域に居住しており、本来気候に対しては広い適応能を有している。気温についても行動的適応や文化的適応に加え、適切な生理的体温調節機能を示す。36℃の体温の恒常性を維持する上で、生理的体温調節は非常に重要である。しかし体温調節能は、性・年齢・個人や人種により大きな差があり、気温と熱中症の関係にも、性・年齢・個人や人種により大きな差が出てくる。

労作性熱中症は、労働中やスポーツ中に体内の熱産生が過大となり、体温の上昇と脱水症状が原因

で発生するため、発生時の気温に比較的幅がある。これに対し暑熱による受動性熱中症（典型的熱中症）は、アメリカ合衆国、中国、インド等大陸性気候下の地域において発生する熱波の際に多発している。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事例では、この期間の最高気温は33.9℃から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。

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。ヒートアイランド現象は、大都市におけるエネルギー消費の増大と人工的建築物の熱放散が原因で、郊外に比べ数度の気温上昇が観測される現象指す。

図4は、東京における日最高気温と熱中症発生率の関係を示したものである。熱中症発生は日最高気温との間に密接な関係があるため、特に都市に居住する人の場合、熱中症発生のリスクに注意が必要である。他方、比較的低い温度でも熱中症が発生しているが、労作性熱中症は運動負荷が重要であり、夏場のスポーツには注意が必要である。急速な高齢化社会を迎えつつあるが、熱中症は高齢者の発生率が特に高いのが特徴であり、高齢化社会における熱中症発生抑制に向けた温暖化への対応を考慮していく必要がある。

図4 日最高気温と熱中症発生率の関係

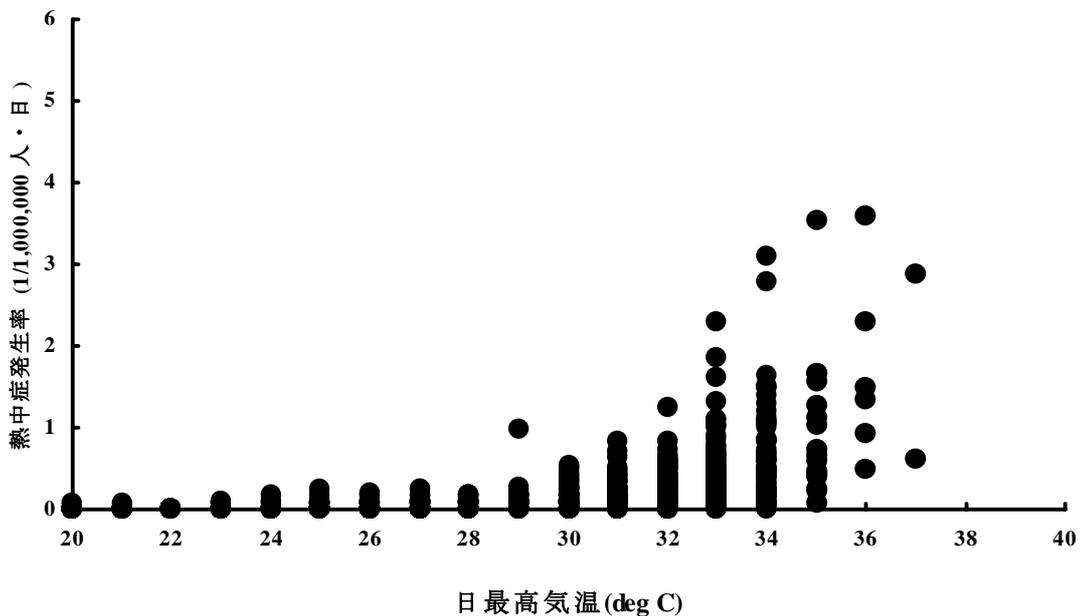


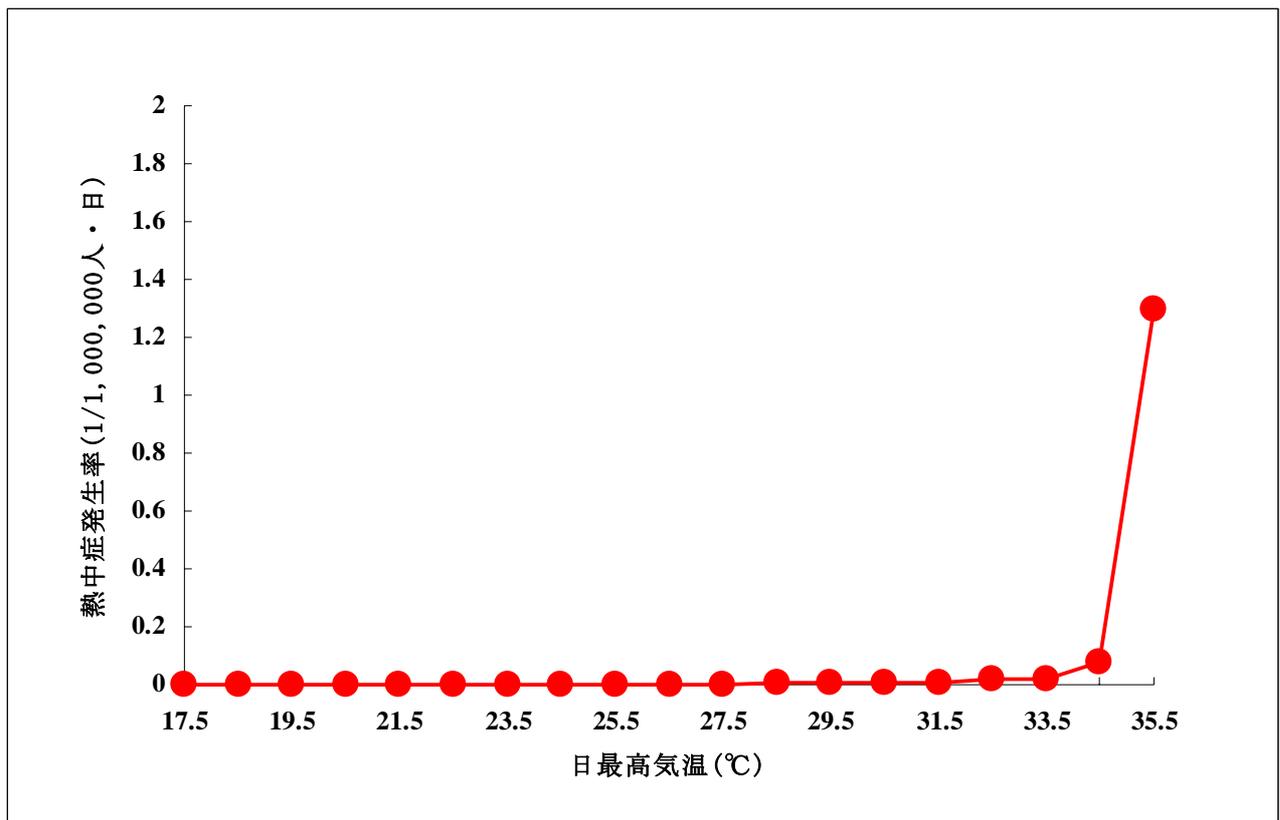
図5は日最高気温と平均熱中症発生率の関係を示したものであるが、日本においては日最高気温30℃を超えると熱中症の発生が増加しはじめる。都市のエネルギー消費に伴うヒートアイランド現象が

加速しつつあるため、将来都市においてはヒートアイランド現象に温暖化が加わり、住民はより深刻な熱ストレスに曝される恐れがある。図に示すように、日最高気温が 35℃を超えて気温が上昇する酷暑の際は、順化適応の域を超えるため熱中症の発生率が急増している。

一般に気温が上昇し熱ストレスとして感じると、人体は脳の体温調節中枢により熱産生系、循環系、発汗系の調節を行い、生理的に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）したり脱水や塩分不足に陥ると、熱疲労、熱痙攣、熱射病といった熱中症の症状が発現する。日本においては高温へ順化適応は少ないことが伺え、夏季猛暑の際には全国で熱中症発生の急増が観察されている。このような熱中症を予防するためには、猛暑の際の日中の外出や活動を控え、室温管理に気を配るとともに水分とミネラルの適切な摂取が必要である。

恒温動物にとって体温維持は、精密な恒常性維持機構の下に行われているが、基本的に高温に対しては、体温維持は困難な面を持っている。このように体温維持機構の破綻する状況である熱中症の症状を呈するのは人だけではない。恒温動物の中でも特に育種により選別された家畜は熱ストレスに敏

図5 日最高気温と熱中症発生リスクの関係



感で、夏季の猛暑の際は多数の家畜が衰弱症状を示し、場合によっては熱中症により死亡する。このため現在の形態のままでは、温暖化の進行に伴い農業被害も大きくなることが予想されている。気

候変化に適応した農業形態を創造する取り組みは、今後一段と重要性を増すと考えられる。

人については、猛暑の際は全死亡率さえも増加する。特に高齢者の死亡率は猛暑下で顕著に増加する。このように夏季の猛暑は、広く人や動物の生存に影響する。温暖化やヒートアイランド現象による社会への影響を予測するためには、今後さらに多くの事象について検討する必要がある。

京都議定書

アメリカ合衆国が京都議定書からの離脱を表明し、途上国のエネルギー消費が増えつづける現在、温暖化の進行は防げないと考えられる。現在執りうる手段は、温室効果ガスの放出を抑制し温暖化の進行を出来るだけ遅らせる一方、温暖化に脆弱な社会から温暖化を視野に入れた社会への対応を図ることである。大都市においては、ヒートアイランド現象が加味されるため、熱ストレスへの対応はより困難なものとなると予想される。

このような中「持続可能な開発に関する世界サミット (WSSD)」ヨハネスブルグサミットが、2002年8月26日より9月4日まで南アフリカのヨハネスブルグで開催された。1992年開催されたりオサミットに引き続き、開発と環境の問題を中心に、人口、途上国の貧困、食糧と農業、淡水源、森林、エネルギー、気候変化、水と健康、大気汚染と健康の諸問題について協議し、締結の急がれる気候変化の抑制に関しては、京都議定書の締結促進が合意された。

日本においても2002年6月4日、国会承認を経て京都議定書の締結が閣議決定されている。京都議定書は世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)を中心に各国政府が協力する「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の評価報告を基に、地球温暖化の予測、影響、有効な緩和策について協議し、国連主導下で1997年開催された地球温暖化防止京都会議(COP-3)で合意されたものである。温暖化緩和策は、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、ハロゲン化炭素(フロン、代替フロン)、六フッ化硫黄などの温室効果ガスの排出抑制は、国際的緩和策上特に重要である。緩和策が実行に移されれば、現代のエネルギー供給の中心を占める石油・石炭使用の抑制のために、電力、エネルギー産業、農業、林業、工業、商業、運輸、地域、家庭等、私達生活のあらゆる分野が、大幅な修正を迫られることになる。

187ヶ国と欧州共同体が参加する国連気候変動枠組条約(UNFCCC)の中心的役割を担う京都議定書は、2003年7月時点で84ヶ国の国連加盟国によって批准され、111ヶ国の参加を得ている。条約加盟国は締約国会議(COP)において、「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る」ことを目標に協議してきた。アメリカ合衆国のブッシュ政権は、京都議定書より離脱したが、2001年10月29日より11月7日までモロッコのマラケシュで開催された第七回締約国会議(COP-7)において、アメリカ合衆国以外の主要先進国と開発途上国の協議の結果、京都議定書の発効が基本合意された。しかし、現在イラク戦争に端的に現れているエネルギー資源を巡る国際的緊張のため、ロシアも京都議定書参加を保留しており、議定書発効に必要な「先進国及び市場経済移行国」全体のCO₂の総排出量の55%を越える参加国の批准が得られず、未発効のまま据え置かれている。

エネルギー資源の根幹を成す石油は、2000年—2004年頃に生産量のピークを迎え、今後世

界的な石油資源利用を巡って、熾烈な競争が起こることが予想されており、京都議定書の発効は厳しい局面に立たされている。

表1 「先進国及び市場経済移行国」の温室効果ガスの削減目標

主要国	ヨーロッパ連合	日本	ロシア	アメリカ合衆国
2008-2012年 (1990年比)の 削減目標	-8%	-6% (2003年比約-14%)	0% (参加保留中)	離脱

自然エネルギー利用拡大へ向けた取り組み

2002年11月現在、日本においては1990年に比べ約+8%の二酸化炭素の排出増が起こっているため、京都議定書発効により「2008年から2012年の第一約束期間」に、1990年比-6%、2002年比で約-14%という著しい温室効果ガス削減目標を達成する義務が生じる。通常の努力では達成の非常に困難な削減目標であり、開発の遅れている風力・バイオマス等の自然エネルギーの緊急な開発と利用拡大、太陽光利用の一層の促進、徹底した省エネルギー策の実行が、中央・地方の行政レベルから、企業、家庭、個人に至るまで必要とされている。

各自治体においても取り組みを進めているが、今後日本における生活、地域活動、企業生産、社会のあり方に大きく関わってくる京都議定書の締結については、身近な視点から考えていく必要がある。ここでは京都議定書の基礎となった国連機関が主催するIPCCの第一次(1990)～第三次報告書(2001)に触れられている地球温暖化抑制への取り組みについて検討してみる。具体的実践として自然エネルギー開発に積極的に取り組み、地域社会の自然エネルギーによる100%自給を目指すデンマークのサムソ島の取り組みに関して報告する。

デンマークのサムソ島における国際研修と自然環境

国際研修を実施したデンマークのサムソ島における再生可能エネルギーの普及状況については、これまでの調査を踏まえ、サムソ島エネルギー環境事務所代表ゾーレン・ハーマンセン (Soren Hermansen) の報告を引用しながら記載する。一方、サムソ島はデンマーク国内のみならずドイツを中心とするヨーロッパの人々を魅了するエコツーリズムの島であり、その自然環境の魅力についても報告する。特にラムサール条約の指定湿地 STAVNS FJORD、島北部の NORDBY 地区などの自然保護区や、歴史的・文化的なモニュメントがエコミュージアムの構成要素として保全され、エコツーリズムや教育の教材として利用されている状況などについて記載する。

サムソ (Samso) 島は、ユトランド (Jutland) 半島のカタガット (Kattegat) 海峡側に位置する人口約4,300人、面積114km²の小さな島である。ラムサール条約に登録された Stavns Fjord 湿地を始め、美しい自然環境に恵まれた島であり、主要な産業は農業とエコツーリズムである。6月中旬から8月中旬にかけての夏季シーズンには、エコツーリズムやキャンプに訪れる人により島の人口が14,000人程

増加する。

前政権時代の1997年、「自然エネルギー100%の持続的発展の島」の国家的モデルケースとして、1998年から2008年の10年間に及ぶ自然エネルギー計画目標を実施しつつある。現在、計画実施5年目にして目標の達成の可能性が高くなってきている。しかし2002年に交代した現保守政権により、環境と福祉への投資が削減されつつあり、「自然エネルギー100%の持続的発展」の計画への政府投資も中止されている。このため本計画を立案し、中心的役割を果たしてきたサムソ島エネルギー環境事務所の活動にも、大きな制約が生じている。その一方、ヨーロッパ連合(EU)の評価は高く、自然エネルギーに関して表彰されている。また日本を始め世界各地からの見学も絶えない。

自然エネルギー利用に関しては、ドイツやオランダを始め多くの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。その際、化石燃料から自然エネルギーへの転換を図るため、税制上の大幅な優遇処置を講じている。日本においても石油消費抑制のため、自然エネルギーに対する積極的優遇処置が緊急に必要とされている。

サムソ島の電力エネルギー供給

写真に示すように、サムソ島においては2000年に、島の西部 Tanderup に3機、南部 Permelille に



写真 サムソ島の電力100%自給を達成した1メガワット(1,000kw)の風力発電機

3機、東部 Brundby に5機、計11機の1メガワットの風力発電機を完成し、自然エネルギーにより消費電力の75%を発電し、残り25%をバイオガス発電により供給し、2004年までに100%自給を達成する予定であった。しかし目標を超過達成し、2002年現在、11機の風力発電機により100%の電力自給が達成されている。

風力発電に加え、写真に見られるように太陽熱やバイオマス燃料を利用した温水供給による地域暖房システムも稼働させている。徹底した自然エネルギーの利用を図るため、独自の工夫によるシステムを完成しており、企業生産と雇用の創設に役立っている。日本の農村地域は自然エネルギーが豊であるため、農村社会において自然エネルギーを積極的に開発利用することは、地域の雇用の創設と活性化に役立つものと考えられる。その際重要なことは、決して他人や企業任せにせず、農村の自立した活動として取り組む必要があることである。サムソ島では自治体、農民組合、商業組合、エネルギー環境事務所が一体となって、自然エネルギーの開発と利用を図っている。



写真 地域暖房に用いられる太陽熱利用の温水供給施設



写真 地域暖房の温水供給に用いられるバイオマス燃焼装置

再生可能エネルギーのショーケースとしてのサムソ島

サムソ島は、自然環境保全のあり方やコミュニティデザインなど、自然エネルギー関係以外のショーケースでもある。昔ながらののどかな島が、10年間の国家プロジェクトとして再生可能エネルギー100%自給の取り組み開始した後は、日本を含め世界中から、大勢の人々が研修や見学で島を訪問している。

病院や高齢者の施設、農家や古い町並みなどもエコツーリズムの対象にして、学ぶべきところを吟味検討した。エコツーリズムの島なので、住民は外部の人との接触に慣れている側面がある。地域経済の発展という意味では良いことでもあり、またショーケースとして参考になる地域が世界に多く存在するわけではないため、島の誇りとなっている面もある。そのような住民の心理については、今後交流が深まれば明らかになると考えている。



ホテル付近の街並み

サムソ島はデンマークで最も美しい

「サムソ島はデンマークで最も美しいところの一つ」という評価がある。自然エネルギー施設の見学だけだと気づかないかもしれないが、景観的にも本当にきれいな島で、建っている風力発電装置も周囲の風景によく溶け込んでいる。元来エコツーリズムの島であるため、風車の設置場所については周囲の景観を損ねないように十分配慮している。先の写真に示したように、案内されたターバイン（風車のこと）のポイントで撮影した風力発電機のある風景は、説明の必要のないほど島のあり様を物語っている。日本においてはこれまで自然エネルギー利用が少なかったが、風力発電のイメージとしては、自然と一体化したサムソ島のターバインが、今後の環境デザインの方向を提示している。

デンマークは古くから風力を利用しており、サムソ島には 1683 年製や 1855 年製の古い風車もエコミュージアムとして保存している。1891 年にはデンマークの Poul La Cour が、世界で最初に風力発電を行っており、1945 年より風力発電機の本格的開発が始まった。1978 年には 400kW、2000 年には 1 MW（1メガワット：1,000kW）級の発電機が実用化され、2003 年サムソ島沖に完成した洋上風車は、2.3MW の発電能力を持っている。現在デンマークは世界の風力発電機シェアの 50% を占め、風力発電機生産は 5 万人の雇用を生み出す一大産業となっている。



1855年製の古い風車のある風景

ラムサール条約指定湿地 STAVNS FJORD

島の北部、Nordby 地区へ向かってくびれた部分、たくさんの島が浮かぶスタUNS・フィヨルドとその周辺海域は、1926年に野生生物の保護区に指定され、1999年にはデンマークで14番目のラムサール条約指定湿地として登録された。1986年にはオーフス・カウンティによりネイチャーセンターが建設され、生物や岩石などについての体験学習や、野外観察会などが実施されている。国際研修では、スタUNS・フィヨルド周辺の自然について説明を受けた後、海辺の状況を実地調査した。

ここはデンマークで最も重要なケワタガモの繁殖地であり、ガンカモ類の他ミヤコドリなどのシギチドリ類もここで繁殖する。多数の水鳥が飛来し、アザラシ (common seal) の群れも観察される。デンマークでは、海上風車の土台で休憩するアザラシの姿も観察されるとのことである。風車のような人工の建造物が野生生物に生息地を提供するという一面もあると考えられる。

ネイチャーセンターから丘を上ると、フィヨルドの島々が一望できる。汚染されておらず人為的建造物のほとんどない健全な湿地の様子を知ることができる。地域の人々が羊を飼い、漁をし、野生のりんごが実をつける暮らしと、野生生物の生息地が共存し、自然と人間の関係の一体化したバランスが感じられる。



STAVNS FJORD のネイチャーセンター付近の景観

ラムサール湿地の範囲を決めるときは、一人の漁師の海路も閉ざさないように配慮して設定された。保護区の管理のあり方も、住民を入れた話しあいで決定されている。日本では広大な湿地を干拓し、有明海の自然生態系を破壊している諫早干拓のような自然破壊がまかり通っており、自然保護の面でも住民への配慮に欠ける手法を多用する日本のあり方に反省が必要と考えられる。

島全体がミュージアム

島には夏場に多数のエコツーリストが訪れる。歴史的な古い建物や、海辺のサマーハウスが宿泊施設として利用されている。保護区内の保全やサマーハウスの建設については状況に応じて国やカウンティ、環境団体、地元住民などが会議で決める。歴史的な建物の改修方法にも取り決めがあり、緑や白のようにかつては窓枠の色も決められていたそうである。外見は大変古めかしいが、建物の中は地域暖房や電気が十分に使え、快適な暮らしができています。街並み以外にも古い風車が住民によって手入れされ、使える状態になっている。またかつての領主の館（現在も住居として使用中）の一部がトイミュージアムとして公開され、庭園も見学できる。

点在するこういった歴史的なモニュメントや、先述の自然保護区などを構成要素として、サムソ全体がエコミュージアムの島となっている。エネルギー環境事務所の隣にある黄色いオフィスには、再

生可能エネルギーの説明以外にも、自力で電気を起こす自転車などが展示され、島の民芸品を買うことも出来る。砂の床で環境を醸し出している。

まとめのショーケース

自然保護と住民参加、自然エネルギーと地域社会と世界、教育やコミュニティなど、テーマ別に様々な事を学ぶショーケースがサムソ島に存在する。少ない訪問では成功の秘訣がつかめるわけもなく、日本との国の成り立ちや国民性の差などを考えると、簡単には導入できない。しかし、国、地域、住民、ビジネス界などがよくできた組織相互のネットワークと、計画に基づいて協働できていること、いろいろなことに対して自由に意見を述べ、話し合いと自立を尊重するという時間をかけて獲得してきた国民の資質などが背景にあって、このような取り組みが成功していると推察できる。

現実には政府が変わりエネルギー環境事務所への予算がカットされるなど、きびしい側面もあるが、EU や、モデルとして参考にしたい国々（日本など）と良好な関係を築いて進行している。風車を買ひ、エネルギー政策の重要な部分を担っているのは市民であり、市民あつての成功となっている。

日本の歴史的な知見に加え、デンマーク、オランダ、ドイツと、自然エネルギーを柱に持続可能な社会の構築を目指している国々について、それを構成するうえで重要な要素を参考に、今後環境デザインをまとめていく必要がある。以下にゾーレン・ハーマンセンの報告を引用する。

デンマーク サムソ島 — 再生可能エネルギー100%を目指す島 — 10年計画始動後3年間の歩み —

Soren Hermansen サムソ島エネルギー環境事務所
Aage Johnsen Nielsen サムソ島エネルギー会社

エネルギー供給目標

サムソ島は、島内の暖房及び電力供給を全て再生可能エネルギーでまかなう事を10年計画の目標として掲げている。また、輸送・交通の効率化による石油・石炭などの化石燃料の消費削減も目標の一つである。輸送・交通に利用されるエネルギーを、再生可能エネルギーから転換するための様々な可能性も今後検討される予定になっている。

新規雇用

エネルギーアイランドプロジェクトでは、相当数の新規雇用の創出を目標として明示している。10年間で暖房や電力などのエネルギー源を100%再生可能エネルギーに転換することにより、島のエネルギー関連産業分野で、30名程度の長期雇用が生まれると予測されている。今のところ数値は出されていないが、春と秋のシーズンにサムソ島を訪れるエコツーリストなどの増加により、サービス産業分野における新規雇用の増加も期待できる。

組織体制

サムソエネルギー会社の理事会には、サムソ市行政（住民数 4300 人）、サムソエネルギー環境事務所（消費者代表）、サムソ農業者組合ならびにサムソ商業者協会が推薦した理事が多く名を連ねており、また理事会が任命する実行委員会にもこれら 4 団体が代表を送り込んでいる。

地域暖房システムの導入

エネルギー会社 NRGi により Nordby 村と Marup 村への地域暖房システムの導入が大幅に進み、このシステムに関心を持つ両村の住宅所有者との契約は 2000 年秋までに完了した。

Nordby, Marup の熱供給プラントは 2500 m²におよぶソーラーヒーターを備えたソーラーヒーティングはもちろん、木材チップその他利用可能なバイオマスを熱源とするものである。NRGi は、2001 年 6 月に両村のプラント建設を着工、その後 Ballen 村、Brundby 村にも地域暖房システムを導入する予定になっている。サムソエネルギー公社とサムソエネルギー環境事務所は 2000 年秋、Onsbjerg 村の住民に対し、地域暖房システムを提案した。Onsbjerg の住民は、藁などを熱源とする地域暖房プラントの建設を決定、農民の一人がプラントの建設および運営に参画することになった。

熱源用植物

2001 年には総面積 20~30ha の土地で、エレファントグラスの栽培が開始される。現在のところ 12 軒の農家が、それぞれ所有する農地の一角でエレファントグラスを栽培することに合意している。収穫されたエレファントグラスは、地域暖房プラントのバイオマス燃料として利用される。

年金受給者に対する省エネ投資補助制度

1999 年春、自治体から暖房費補助を受けている年金受給者 440 名に対し、家庭における省エネ推進キャンペーンの案内書が送付された。年金受給者が国の補助制度を利用すれば、省エネ対策に投資した費用のうち最大 50%が還付される（上限は 25,000 クローネ：日本円で約 50 万円）というものである。1999 年、島の年金受給者のうち 62 名がこの制度を利用、住宅の断熱工事や新しい窓の取り付けなどに 200 万クローネを超える補助が実施された。

翌 2000 年は同様の案内書は送付されていない。前年のキャンペーンの結果が良好であり、地元の大工や配管工なども国の補助制度を利用者に対して照会できたために、同年には新たに年金受給者 31 件の省エネ投資があり、81 万 5 千クローネの補助金が支払われた。

1 戸建て住宅用再生エネルギーシステム（地域暖房対象区外の住宅）

デンマークエネルギー省は、1999 年と 2000 年の春に新たな再生可能エネルギー推進に対する補助を実施した。NRGi や地元の工事関係者らの協力により、キャンペーンは顕著な上昇率を維持し、個人の住宅を中心にソーラーシステム 70 基、バイオマスボイラー約 80 基、ヒートポンプシステム 30 基などが設置された。

陸上風車

2000年3月と8月に1メガワットの陸上風車が11基設置された。サムソ島の電力のほぼ100%が風力発電により供給されている。風車のうち2基は Samsø Vindenergi 協同組合方式で所有、残り9基は複数の地元農民の個人所有である。風車の所有者から毎年寄付金を募り、運用のためのエネルギー基金が設立されることになっている。集まった基金は島内の公共エネルギー事業に活用される。

洋上風車

1998年秋、サムソ島南部、または西部の海上に22.5メガワットの海上風車群の設置計画第1段階がスタートした。デンマークエネルギー省がヒアリングを実施し、候補地3ヶ所の中から、島南部に位置する Palundans Flak を計画用地として選定した。計画第2段階では、計画用地、正確な設置地点、環境影響評価などに関する詳細な計画が必要とされる。第2段階は2000年春、エネルギー庁の補助金で実施された。

この段階では、最初の1基がサムソ島南部3.5kmに建てられ、全体で10基の風車が北から南へと一列に設置されることになっている。その際、タービンの大きさに関しては、2メガワット、2.5メガワット、3メガワットの三つのサイズが検討された。2001年の春、関係する全ての団体へのヒアリングが実施されることになった。2001年の夏には計画の最終的な詳細と組織的な準備を開始することができ、2003年の始めには風車の設置が完成した。2003年夏の国際研修の時、サムソ島を訪問した際には洋上風車は稼働していた。

ゴミ処理場のメタンガス

2000年春、エネルギー関係団体と一人の地元の農民が、閉鎖された埋め立て処分場からのメタンガスの利用の可能性について調査を開始した。2000年秋にはデンマークエネルギー庁の資金提供を受け、発電施設が設置された。この農民の呼びかけにより、他の島民もこのベンチャーに参加、Samsø Deponigas I/S という協同組合が誕生した。メタンガスで15kwの発電機を運転しているが、余剰電力は今のところ活用されていない。

電力は送電線網を所有する事業者販売されている。施設はまだ調整中ではあるが、十分に稼働している。島の行政担当者はこの結果に着目し、現在の処分地により大規模な発電施設を設置することが可能かどうかについての調査を開始した。現在の処分場が満杯になった時点で、ガスを採取する煙突とパイプが設置される。メタンガスが利用できるか否かはその量と質にかかっているが、第2期には施設内の暖房もしくは発電を行う予定である。

ヨーロッパの再生可能エネルギーの島

EUのALTNERプロジェクト「再生可能エネルギー100%の小島嶼をめざして」は、2000年6月に完了した。サムソ島をはじめ El Hierro (スペイン)、La Maddalena (イタリア)、アラン諸島 (アイルランド) は各島での一連のプロジェクトにおいて互いに協力し合っている。

サムソ島はこの1年半のプログラムに参加し、新たな地域暖房や1戸建て住宅用再生可能エネルギーシステムの推進、協同組合による陸上風車及び海上風車の運営などのキャンペーンを行ってきた。エネルギープロジェクトに参加している他の島との情報交換や、相互訪問などにも努力してきている。

ショーウィンドウとしてのサムソ島

エネルギー環境事務所の職員は代表として、また公共サービス提供者としての役割を担っており、訪問者の受け入れ、会議への出席、記事の執筆、問い合わせへの対応、ホームページの管理などの業務を一手に引き受けている。このプロジェクトには国内外から関心が多く寄せられており、島において個々のプロジェクトが実施されていくにつれ、関心はさらに増していくと期待されている。

再生可能エネルギーへの転換事業でもたらされる利益など

表に示すように、この計画はサムソ島の雇用、自立、競争力、社会的なデモクラシーを向上させ、

投資額と雇用発生数(1999-2001)

	投資額(ユーロ)	島内雇用発生数(年間)		島外雇用発生数
		建設	工事メンテナンス	
地域暖房				
ウッドチップ、ソーラー	2,979,452	25	2	39
わら	1,267,123	14	1.5	13
戸別暖房				
バイオマス	602,739	4.5		8
ヒートポンプ	328,767	2.5	=1.5	4
ソーラー	328,767	2.5		4
エネルギー効率				
退職者への助成	438,356	4		4
風力発電				
陸上	9,178,082	11	0.5	102
海上	35,616,438	15	2	425
計	50,739,724	78.5	7.5	599

マネージメントチーム:

サムソエネルギー会社	2
サムソ環境エネルギーオフィス	1
サムソ海上風力インコーポレーション	1

かつ住民の人間関係の絆を強化するという利益をもたらしている。たとえば、近所に住まいながらお互いに知り合うことなく暮らしてきた人々が出会い、共に何かを創り出していくよい機会を与えてくれている。コミュニティの一部分—例えば先生とか農家とか、通常共通するものをあまり持たない人々が、この事業を通じてお互いの理解を深め、それぞれのコミュニティの中へ招待しあうような方法を学ぶ事もできる。

これは、地方の小さな島においては非常に重要なことと考えられる。コミュニティは次第にエネルギー供給に関心を抱くようになり、さらに、暖房や電気、一般的なエネルギーのプロセスについての一般の知識が向上していく。

温暖化緩和に向けた視点

温暖化に関する予測と対応策については、今後さらに幅広い学際的取り組みが必要とされている。原子力発電について、発電中に二酸化炭素を出さないことだけに着目して、さらなる建設促進を主張する動きがある。しかしウランの採掘、核燃料の製造、発電所の建設、発電後の廃棄過程においては、大量の石油やセメントを使用するため、二酸化炭素の放出量は決して少なくない。さらに重大なことは、長期間貯蔵する以外に方策のない高レベルの放射性核廃棄物を膨大な量発生することである。地球の温暖化という未知のリスクを避け次世代の環境を守ることは大切であるが、将来の世代に核廃棄物汚染のリスクを負担させることは、現世代の身勝手な論理といえる。本報告で述べた自然エネルギー利用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。

他方極端ではあるが、人や自然の生理的適応能の発達を信じて、温暖化の進行を傍観し自然の成り行きに任せるといった意見も根強くある。二酸化炭素の大気中への蓄積現象は、自然科学の分野では1960年代より知られており、その際には自然の適応説が主流であった。厳しい現実として、二酸化炭素の大気中濃度は、観測開始以来この40年間増加し続け、現在は過去42万年で最大の濃度にまで達している。

また人の適応能に関する研究結果は、地域社会を構成する住民の明白な適応限界（閾値の存在）を示している。高い気温への人の生理的順化能に依存できないことが予想される現在、新しい地域環境の創造を伴う社会的適応、特に緑化等による地域クーリングを促進し、温暖化影響を緩和していくことが必要とされている。

以下に、温暖化により予想される影響を緩和するための環境対策について、地域社会へのその普及促進を目指し考察してある。

温暖化緩和のための環境創造

自然環境の保全による広域環境の温暖化緩和



自然と調和した農漁業による二酸化炭素放出抑制



温暖化緩和に向けた個人・企業・地域・国の取り組みと計画



自然エネルギーの積極的利用-----化石燃料の削減

自然共生型の農漁業活動-----自然保護と土壌・水質の保全

省エネルギーの徹底-----工業化社会における二酸化炭素放出抑制

地域住民・自治体・NGO組織の共同による温暖化緩和策の実施と評価

謝辞

本調査研究と国際研修に際し、サムソ島エネルギー環境事務所、サムソ島ネイチャーセンター、フリースクール、エネルギー会社 NRGi などサムソ島関係者、富山国際大学高久実子・柴和恵各位の協力・援助をいただいたことに深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) C. J. Campbell: The Association for the Peak Oil Study. APOS-ODAC Newsletter 18, June 2002.
- 2) 安藤満：地球温暖化の健康への影響－ヒートストレスと熱中症．地球環境 2, 119-129 (1998)
- 3) IPCC: Emissions Scenarios. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. (2000)
- 4) IPCC: Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability-Contribution of Working Group II to the IPCC Third Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. (2001)
- 5) A.J. McMichael, A. Haines, R. Sloof, S. Kovats, M. Ando, R. Carcavallo, P.R. Epstein, G. Jendritzky, L.S. Kalkstein, J. Patz, R.A. Odongo, W.T. Piver : Climate Change And Human Health. WHO/WMO/UNEP (1996)
- 6) M. Ando : Risk assessment of global warming on human health. Global Environ. Research 2, 69-78 (1998)
- 7) 入来正躬・安藤満：「地球温暖化の健康への影響」科学 69, (7), 639-644 (1999)
- 8) W.T. Piver, M. Ando, F. Ye and C.J. Portier : Temperature and air pollution as risk factors for cerebral vascular diseases in Tokyo for 65+ males and females for July-August 1980-1995. World Resource

Review 11(3), 337-345 (1999)

- 9) 安藤満・岡部信彦・小野雅司・内山巖雄他：「温暖化による健康影響と環境変化による社会の脆弱性の予測と適応によるリスク低減化に関する研究」環境省地球環境研究総合推進費終了研究報告書, (2002)
- 10) 入來正躬：「1995-1999年夏の山梨県での熱中症に関する研究」日生氣誌 37, 63-72 (2000)
- 11) 星秋夫・稲葉 裕：「人口動態統計を利用した発生場所からみた暑熱障害の死亡率」日生氣誌 39, 37-46 (2002)
- 12) C.A. Briger, F.P. Ellis, H.L. Taylor: Mortality in St. Louis, Missouri, during heat waves in 1936, 1953, 1954, and 1966. *Environ. Res.* 12, 38-48 (1976).
- 13) E.M. Kilbourne, K. Choi, S.B. Thaker, T.S. Jones: Risk factors for heatstroke. A case-control study. *JAMA* 247, 3332-3336 (1982)
- 14) L.S. Kalkstein: The impact of CO₂ and trace gas-induced climate changes upon human mortality. In: *The potential Effects of Global Climate Change on the United States, Appendix G: Health* (J. Smith, D. Tirpak eds.) Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 1989.
- 15) L.S. Kalkstein, J.S. Green: An evaluation of climate/mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change. *Environ Health Perspect* 105, 84-93 (1997)
- 16) Centers for Disease Control and Prevention: Heat-related mortality-Chicago, July 1995. *Mor Mortal Wkly Rep* 44, 577-579 (1995).
- 17) M.A. McGeehin, M. Mirabelli: The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States. *Environ Health Perspect* 109, 185-189 (2001).
- 18) 入來正躬：「老年者の体温と調節機構」*老化と疾患* 9, 1063-1069 (1996)
- 19) 入來正躬偏：「体温調節のしくみ」文光堂, (1995).
- 20) W.T. Piver, M. Ando, F. Ye and C.J. Portier : Impacts of heat index temperature and air pollution on heat stroke for residents of Tokyo, July-August 1980-1995. *Environ Health Perspect* 107, 911-916 (1999)