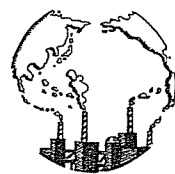


地球科学から見た熱汚染

西沢利栄



まえがき

近頃「地球の温暖化」という言葉は、ファッションナブルな響きさえ感ずるほど、毎日のようにマスメディアに登場してくる。

一般に、地球規模の環境問題は、工場などから排出される汚染物質とは違って、直接われわれの健康を害するものではないし、影響を受ける空間的規模も巨大である。それゆえ、取りあげられ方も、地域の人々からの訴えによるというのではなく、世界の政治や経済などの流れ

の中の作為的所産である場合が多い。作為的所産は、作為の必要がなくなれば、科学的な研究成果とは関係なく消滅してしまう。しかし、近頃の地球規模の環境問題に対する意識は、人々の関心の高さや政治的取り扱いなどからみて、何回か繰り返されてきた一過性のものとは違ったものになっているように思われる。また、そのように願いたいものである。

最後の公害「熱汚染」

熱汚染という言葉は、汚染といえば、一般に大気汚染

とか水質汚染、あるいは放射能汚染と考えられる中にある、聞き慣れないものである。ところが、この熱汚染こそが、人類にとって、最も厄介な汚染といえるのである。

エネルギー利用をふりかえってみると、まず第一に、エネルギー源は、需要を充たす安定した供給と利用面の多様性が要求され、次いで、人間や生物に害を与えないクリーンなエネルギーであることが重要な点であった。そして二十世紀も終りを迎えるようになって、人類は、エネルギー消費そのものを抑制するか、あるいは熱による汚染を少なくしなければならない課題に当面しているように思う。

元来、生物が生存する地表近くの気温は、もちろんのこと海洋や陸水、さらには大地の温度も、すべてが太陽エネルギーによって形成されている。このことは、言葉を換えるならば、地球・大気系の温度環境は、太陽エネルギーを唯一の収入として、それが大地や大気を暖め、あるいは水分を蒸発させるために、支出される地球・大気系の熱の収支によって決定されているといえる。

ところが、最近の化石燃料や核エネルギーの消費は莫大なもので、それから排出される熱によって地球・大気系の正常な熱の収支が変えられようとしているのである。すなわち、かつては唯一の収入エネルギーであった太陽エネルギーに化石燃料や核エネルギーの消費に伴う熱が、収入熱量として付加されつつあるということである。この付加熱が地球・大気系の温度を高めるのである。このようなことから、この付加熱のことを「熱汚染」と呼ぶ。

もちろん、人類が化石燃料を使い始めた頃から付加熱は排出されていたが、その量は小さく、太陽エネルギーにくらべれば無視できたのである。しかし、二十世紀に入ってから地球規模ではないにしても、局地的に付加熱の影響が顕在化し、最近に至っては、かなり大きなものになっている。そして今のままでは、二十一世紀に、この付加熱、すなわち熱汚染による影響は、ますます増大するであろう。このことは、最近話題の二酸化炭素や他の気体による温室効果と相まって、地球の温暖化を一層加速するのである。

熱汚染源は、地球上に均一に分布するのではない。都市域や工場密集地域、さらには火力発電所や原子力発電所など、エネルギー消費の大きな地域に偏在し、そこから多量の熱汚染が排出される。他方、この排出源は、農村地域には少ないし、森林や草地あるいは、海洋上にはないに等しい。しかし、たとえ排出源が偏在しているとしても、そこから多量に排出される熱は、大気の循環系によって、地球大気全体へと拡散し、地球を取りまく大気の温度を変化させるようになる。

化石燃料にしても核燃料にしても、われわれは、100%電気エネルギーや機械エネルギーに換えることは出来ない。このエネルギー変換の出来ない部分は、熱として放出される。さらに、電気エネルギーや機械エネルギーに変換されたエネルギーも、最終的には、摩擦によって熱に姿を変えてしまう。

いずれにしても、人類が消費するすべてのエネルギーは熱になって地球・大気系へと排出される。これは物質的汚染と違って、直接われわれの健康を害することはないにしても、地球の温度環境を変え、ひいては、人類の

生存を脅かすのではなからうか。また、この汚染は、いくらお金をかけても回収することはできないし、回収しようとするれば、それによってエネルギーは消費されてしまう。こんな訳で、「熱汚染」は、最後の公害といわれるのである。

熱汚染の象徴「熱の島」

冬の夜、筑波から東京に帰る途次、夜空に浮かぶ東京のシルエットが見え始めると、凍てつくようであった筑波の寒さも消えるように和らぎ、明らかに気温が上昇していることがわかる。

このように、都市域が、それを取りまく田園地域より高温を示すことは、十九世紀の初めに、ルーク・ホワードによってロンドンで発見された。それ以来、世界各地の都市でも、この高温現象が確認されてきた。

そして、この高温現象は、建物が密集し、都市活動が盛んなアーバン・コアで最も顕著にみられ、そこから郊外に向けて次第に温度は下がる。この様子を地図上に等温線で表わすと、海洋に浮かぶ島の地形を平面上に投影

した等高線に類似していることから、この現象を「熱の島」と呼ぶようになった。そして、アーバン・コアが一つの都市では高温域は一つであるが、東京のようにコアが複数ある巨大都市の場合には、高温域も複数になる。さらに、この熱の島の最も高い温度域の気温と周辺の低温域の気温との差、すなわち、島の海拔に相当する値を「熱の島の強さ」と呼ぶ。

熱の島の形成原因については後に述べるとして、次に夜間の熱の島の強さと都市域の人口の関係について述べよう。

都市域の人口の対数を横軸に、熱の島の強さを縦軸にとるグラフ上に、さまざまな都市の値でプロットしてみると、そこには人口の大きい都市程、熱の島の強さが大きくなる明確な直線関係が見出される。そして、さらに興味あることには、世界の諸都市が三つのグループに分かれて、それぞれが別の直線関係を示すことである。

アメリカ合衆国とカナダの都市が一つのグループになって、熱の島の強さも、直線の勾配も、ともに最も大きい。ついで、イギリス、スウェーデン、オーストリア、

オランダ、西ドイツなどヨーロッパ諸国の都市が一つのグループになって、熱の島の強さも、直線の勾配も北アメリカ諸都市の場合より小さいのである。⁽¹⁾ちなみに、この二つの直線から両グループの人口一〇〇万人の都市における夜間の熱の島の強さを求めてみると、それぞれ、ほぼ十一度と八度で、北アメリカの方が三度も大きい。

以上のように、北アメリカとヨーロッパの諸都市で、差があるとはいえ、ともに人口に対する熱の島の強さの関係は一つの直線で表わすことが出来た。

そこで、日本と韓国の諸都市を対称にして、同様のグラフを作ってみると、ここでも上述の二つのグループと同様に、直線関係が認められる。しかし、この直線は、両国の場合、ともに人口が三〇万人程を境にして不連続な二つの直線になってしまう。⁽²⁾

人口の少ない都市群では、二つの国の直線は重なり、熱の島の強さも、勾配も、ともに小さい。ところが、人口が三〇万人を超える都市群では、日本の場合も、韓国の場合も、直線の勾配は急に大きな値に変わり、これら

は別々の直線で表わされるようになる。そして日本の直線の勾配は、韓国にくらべて大きいのは、もちろんのこと、アメリカ合衆国とカナダの都市群の勾配よりも大きな値を示すのである。

以上のように、人口と熱の島の強さの関係は、北米の都市群、ヨーロッパの都市群、日本と韓国の極東における都市群の三つのグループに大別される。

気候学の立場からみて、都市域が、その周辺の田園地域と大きく違う点は、第一に、地表面の広い面積がコンクリートやレンガがあるいはアスファルトなどの不透水性の物質におおわれて、土壌剥き出しの面積が減少すること、第二は、地表面の凹凸が増すこと、第三は、エネルギー消費密度が大きいことである。

都市域の不透水面積率が増大することは、降水の流出を早めるだけではなく、都市域の地表面熱収支を大きく変える。すなわち、都市域全体として、土壌面や樹木などからの水分の蒸発に消費される太陽エネルギーが少なくなる。とりわけ、剥き出しの土壌面や緑の少ないアーバン・コアでは、この傾向が著しい。

以上のように、熱の島の形成原因は、二つに分けられる。その第一は、太陽エネルギーを収入熱源とした地表面の熱収支が田園地域のそれと大きく異なること。第二は、化石燃料などのエネルギー消費に伴う熱が付加されることである。いわゆる熱汚染である。この熱汚染の影響は、都市化が進むに従って大きくなり、熱の島も一層温度を高めることになる。

さて、再び人口と熱の島の強さの關係に話を戻してみよう。

この都市の人口と夜間の熱の島の強さの關係は、前述したように三つのグループに分けられた。そして、私は、この三つのグループに分かれる原因として、それぞれの都市群間の文化の違いなどを考慮する必要があるように思う。

たとえば、赤外線を抑制する都市域の凹凸をみても、ヨーロッパの都市では、古い建造物がアーバン・コアを占めて、そこから郊外に向けて周辺に割合に背の高い近代的ビルが並ぶような凹凸分布を示すのに対し、新大陸北アメリカの都市では、逆に高層の近代的ビルがアーバ

このように、地表にやってくる太陽エネルギーを蒸発のために、あまり消費しなくてよいということは、その余剰分を都市を構成している道路や建築物に蓄えそれらの温度を高めたり、大気への支出分にまわし、気温を高める。そして、都市の構成物質に、日中蓄えられた太陽エネルギーは、夜間になると赤外線として放出されて、その温度を下げる。ところが、この放出量は、空に雲があるとか、回りにビルの壁があるとか、放出面の周辺状況によって変わり、その温度変化にも差異が生ずる。このことは、経験的に曇った夜の方が晴れた夜より冷え込みの少ないことから知ることが出来る。

ビルの谷間では、空を見上げても田園地域のように、すべてが星の輝く美しい空というわけではない。そこは建造物によって多くが占められて、空は少ないのである。そして、この建造物は、曇った夜のようにビルの谷間から外部へ放出する赤外線を小さくし、夜間の冷却を和らげる。さらに、都市域では、混雑する自動車からの排熱も大きく、それはビルの谷間に蓄積する。また、冷暖房からの排熱も大きい。

ン・コアを占めて、その周辺を二階または一階建ての住宅が広がる凹凸分布を示す。このような両都市域の異なった凹凸分布は、同一の人口の都市でも、そのアーバン・コアにおける夜間冷却に差異を生じさせて、熱の島の強さに違いができる。また、都市域の構成物質にしても、エネルギー消費密度にしても、両都市群で差異があろう。このように考えてみると、日本と韓国の都市は、人口がほぼ三〇万人を境にして、都市域の凹凸分布や構成物質、さらにはエネルギー消費密度など都市の性質が大きく変わり、それが人口と熱の島の強さの關係を二つの不連続な直線にしているのであらう。

熱汚染、その螺旋状的特質

昨年夏、ある猛暑の昼さがり東京で、広域にわたって、突然停電したことがあった。これは日中の気温の上昇による冷房装置の使用が急激に増えたためであったという。

最近、ビルというビルは、すべてといえるほど冷房施設があるし、家庭でも多くの場合、クーラーが取りつけ

られている。

冷房装置は、部屋の中に侵入した熱やその中で発生した熱を外に出し、部屋の温度を下げるための設備である。壁や屋根あるいは窓ガラスを通して熱い外の空気から、あるいは直接、太陽からの日射が部屋に侵入し部屋の温度を高める。そのうえ部屋の中では人体から、あるいは電灯や炊事器具から熱が発生してさらに部屋の温度を高める。

冷房装置は、このように熱が蓄積している部屋から、その熱を取り出し部屋の気温を下げるけれども、その取り出された熱は外気に捨てられる訳である。

冷房装置によって部屋から取り出された熱の中でも、太陽や外気から壁などを通して入った熱は問題ないとしても、冷房装置を稼働させるために消費した電力による発生熱量、炊事など家庭生活上のエネルギー消費による発生熱量、さらに部屋の中の水蒸気が凝結する際に発生する熱量などが、熱の島を一層顕著なものにするのである。

東京電力提供の資料⁽³⁾によると、日中の気温が三十度を

汚染に相当する。

都市域で発生する熱は多種多様である。その熱量も大きい。この熱が都市域をおおう大気に蓄積され、熱の島が強化される。そしてときには強い風が吹いて、この蓄積された熱を、どこかより広い空間へ運び去ってくれる。そのため都市域の気温が際限なく高くなることはない。

しかし、気温が上昇すればする程、多くの冷房装置が稼働する。冷房装置が稼働すれば、またそこから熱が排出されて気温を高める。

このように熱汚染には螺旋状的構造を持つ特質がある。

むすび

一般に国民一人当りのGNPと一人当りのエネルギー消費量の間には、相関関係がみられる。各国ともエネルギーを消費して生産を高めGNPを大きくしてきた。GNPが高まれば、また、エネルギー消費が増大する。

一九八六年の統計をみると、わが国の一人当りのGNPは、ほぼ一万六千ドルである。これは十年前の値とくら

越えるような暑さの中では、気温が一度上昇することに電力消費が一〇万キロワット増大するという。私が「熱汚染」を書いた一九七七年当時の資料（東京電力提供）によると、気温の一度上昇に対する電力消費は四〇万キロワットで、現在の三分の一であった。

このことから見ても、最近、冷房用の電力消費が著しく増大していることがうかがえる。

冷房装置の使用は、その電力消費に伴う熱の発生もさることながら、水蒸気の凝結によって発生する熱も大きい。一般家庭用のクーラーでも、およそ一時間に、水にして一―二リットの除湿能力がある。水一リットルに相当する水蒸気が凝結して空気から除かれるときには、約六〇〇キロワットの熱が大気中に放出される。このようにして水蒸気が放出する熱は、その水蒸気が地球上のどこかで太陽エネルギーを使って蒸発したものであるから、太陽エネルギーそのものである。それゆえ、地球全体としてみたときには熱汚染とはなり得ない。ところが、水の蒸発は太平洋上で、凝結が東京で生じたとすれば、局地的にみたときには、この凝結によって発生する熱は、東京にとって熱

べてほぼ四倍で、一九八五年のエネルギー消費量は、石油換算にして一人当たり二六〇〇キロワットである。この値は、世界先進諸国の中では小さく、エネルギー有効利用型ともいえる値である。

私は、この原稿を故あって、カリフォルニアで書いている。ホテルの窓の下、片側五車線の道路を次々と車が走り過ぎて行く。広大な国土と高い一人当りのGNPが作り出す当然の姿のように。

世界各国、とりわけ先進諸国のエネルギー消費が増大すれば、熱汚染も増大する。

地球・大気系の熱収支は、常に収入と支出がバランスし、蓄積がないので、太陽エネルギーの収入に熱汚染からの収入が付加されて収入が増えれば、当然その分の支出も増える。

地球・大気系からの支出は、すべて宇宙に向けて放射される赤外線によって賄われる。それゆえ、熱汚染による増加分も赤外線として宇宙へ放射される。そのためには温度上昇がなければならない。

現在、全世界のエネルギー消費が、熱汚染として、ど

れ程地球・大気系の温度上昇を生み出しているかは定かでない。しかし、ますます増大するエネルギー需要が、熱汚染として顕在化する限界を見極めることとエネルギー消費を抑える方途を見出すことが必要である。

一九七七年、私は「熱汚染」という小冊子を書いたことがある。このとき、さまざまな熱汚染現象をとりあげ、その様相と原因について書いたのであるが、さて熱汚染を防ぐ方法とは考えたとき、それは、日常生活やその他でエネルギー消費を減らすことが最良の方法なのであった。しかし、私自身、日常生活の中でエネルギー消費を減らす不便にどこまで耐えることができるだろうか。また、社会全体としてエネルギー消費を減らすシステムを創造し環境を守ろうという主張は、経済優先の世の中に、果たして受け入れられるだろうか。

熱汚染に限らず環境問題は、一人一人の中に、常に「考える自分」と「生活する自分」の矛盾を生じさせる性質をもっているように思う。

いずれにせよ、各人の心の中からこの矛盾が消えさるときこそ、環境問題が解決されたといえるのであろう。

科学技術の進歩が、それを果たしうるのか、われわれが不便に耐える力が、これを解決するのか、人類の最大の課題である。

註

(1) プリティッシュ・コロンビア大学ティム・オーク博士による。

(2) 広島大学福岡義隆博士とテキサス大学朴恵淑博士による。

(3) 東京電力営業部市場調査課の好意による。

(にしざわとしえ・筑波大学教授)