

環境と健康

大久保, 利晃 / OKUBO, Toshiteru

(出版者 / Publisher)

法政大学人間環境学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

人間環境論集 / 人間環境論集

(巻 / Volume)

7

(号 / Number)

1

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

14

(発行年 / Year)

2007-02-28

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004500>

環境と健康

大久保 利 晃

1. 人類生存と環境

近年、環境問題は、その多くが生物・人類の健康・生存にとっての脅威という立場から論じられてきた。しかし、生物が発生したのはこの地球環境からであり、その後の生物の進化、人類の誕生も、全てこの環境に適合するために生じた一連の現象の帰結と考えられる。したがって、現在ある地球上全ての生物種の生存は、それぞれの生息地の環境や生態系に適合するように進化した結果であり、そもそも脅威などではあるはずはないのである。むしろ、その巧みな環境適応の仕組は神秘的ともいうべきものであり、現代科学が発達したといっても、解明できたのは極く一部にしか過ぎないだろう。

このように、環境に適合すべく進化した人類ゆえに、現在の地球環境はむしろ生存にとって都合の良いものであるはずである。それが、あらゆる疾患は環境に起因するなどと言われるようになったのは、主としてこの100年間に起こった科学技術の進歩と、それに基づく人類の生存様式の変化が、人類の環境への適合能力の速度を超える早さで進行したことによるといえるだろう。

現在では、熱さ寒さ、照明・騒音、気圧など、我々人類の基本的な生活環境全てがエネルギーを使用する人工環境に置換してしまった。衣服、飲料水、食料などもすでに多くが人工的なものになっている。それまで地球上に存在しなかった多くの化学品を合成し、直接間接に使用するようにもなった。大都市への密集、高速での移動、情報機器を用いた間接的接触・遠隔地からの同時情報享受など、こうして羅列してみると、ごく最近急速に発達したもののばかりであることに改めて驚きの念を禁じえない。

人類による文明の発達はいかに、これもまた

全て地球上の資源に支えられてきたのである。木を切りそれを燃すという単純な資源利用は、次第に地中に埋蔵された化石燃料の利用へと規模が拡大した。それでも使い始めの頃は、排煙や廃熱の影響は全く問題にならず、地球環境は無限と考えられてきたが、これも幻想であることが分かってきた。今や人類生存にとって最大の環境問題はエネルギーの使いすぎによる地球温暖化である。しかし、高速交通手段や高速情報通信手段の発達による社会・心理環境の変化も、健康を脅かすという観点からは、これに劣らぬ人類生存の脅威といえるかもしれない。

適応能力を越えた速度での生活環境変化は各種の健康障害を惹起している。直接曝露による局所的障害、工場からの局地的な汚染から始まった問題が、生産規模の拡大によって地域環境、地球環境の汚染へと進んだ歴史は、公害問題としてよく知られている。しかし、日常生活の変化による健康障害の発生については、一般にまだそれほど認識されていないかもしれない。しかし、両者のリスクの大きさを比較すると、恐らく日常生活の変化によるものの方がはるかに大きいと推定される。原因のはっきりしない慢性の健康障害に対し、各種の積極的、消極的対応がなされている。これがまた、障害の連鎖に繋がる。医療のような積極的対応には医原性疾患のような二次的な障害を起こす可能性が無視できない。アレルギーに対する生活上の配慮は消極的対応といえるが、これも社会心理的な負担から二次的に種々の健康障害に関係するかもしれない。

今やわが国では生活習慣病対策が最重要健康問題となっているが、このような観点から説明すれば、ほとんどが近代的生活環境に関連するものであり、こう考えれば、一部の遺伝性疾患

などを除き大部分の疾病は、環境に起因または関係するものであるといえよう。

2. 環境性疾患発症モデル

環境と健康障害発生の関係は上述のように複雑である。社会心理的過程を経るものは、その過程の一部は医学の範疇を超えるので、ここでは後の論述内容に関係する化学物質による中毒あるいは慢性疾患発生までのメカニズムを解説することにする。

1) 曝露、吸収、代謝、蓄積、排泄

化学物質の場合、生体への進入経路は、呼吸器、消化器、皮膚の3経路が大部分である。物性によってこの態様は異なり、気体または蒸気の場合にはほとんどが呼吸器からであり、液体の場合には皮膚からとなる。液体がミストと呼ばれる微小な粒子の場合には、呼吸器からも、また二次的な嚥下により消化器からも進入する。個体の場合には、大きな粒子のままでほとんど吸収されないが、微細な粒子つまり粉塵の状態になるとミストと同じく、呼吸器または消化器からの進入が考えられる。この場合、粒子の大きさによってその効率は大きく異なり、大きすぎれば気道の途中で捕獲されてしまい、二次的嚥下の可能性はあるが呼吸器からの進入はない。また、小さすぎると空気の子と同一挙動になり、タバコの煙と同じように、いったん肺胞まで進入しても呼吸と共に排出される。

それぞれの臓器に進入した化学物質は、その溶解性によって血液中まで吸収される割合が異なる。血液中に吸収された後の挙動は複雑である。一部はそのままの化学物質の形で作用個所まで運ばれる。また、主として肝臓で別の化学物質に変化して、無毒化される場合と変化した物質に真の毒性がある場合がある。またある物質は脂肪などの臓器に蓄積し、再び血液中に溶け出すまでは特に毒性を示すことはない。こうして血液と共に全身を廻るうちに、もとのままの化学物質または肝臓などで代謝された物質の形で、肺から呼吸中に、腎臓で尿中に、ものによっては肝臓から胆汁として体外に排泄される。量的には少ないが、汗や毛髪を介しても排泄さ

れる。

したがって、血液中に吸収されたからといって、その全量が障害発生の原因になるわけではなく、それぞれの物質ごとに、障害発生の原因たりうる化合物形態（究極活性化という）で作用臓器に到達する量が問題なのである。したがって、例え曝露量（進入臓器に到達した量）が同じ濃度であったとしても、個人の体内における代謝の状態によって、この究極活性化量は異なり、同じ環境濃度の中にも、発症する人とならない人が存在するのは当然のことで、一般論としてこれは個人差と呼ばれている。したがって、ある濃度において発症する人とならない人が必ず存在するので、環境化学物質による障害発生は通常確率現象である。

2) 発症モデル

このように、ある化学物質へ曝露して、血中濃度が上昇し、蓄積、排泄される中で、ある部分の物質が作用し、障害を発症するという過程はダイナミックである。このような全ての過程を表現するのが発症モデルであり、その解明は中毒の成因や予防対策樹立のための重要な情報となる。

上記の例のような単一の化学物質の中毒モデルを考える時にも、急性影響、慢性影響によってモデルは大きく異なる。中には蓄積してから排泄されるまでの期間が極めて長く、吸収蓄積量が半減するまでの年数を考慮しなければならないことも少なくない。また、二つ以上の要因が同時に作用すると、相加、相乗、競合の全ての可能性を考慮する必要がある。いずれも要因や代謝の段階が増えると共にモデルは急速に複雑になり、モデル解明は加速度的に困難になる。

曝露の実態としては、1回または少数回の比較的高濃度への急性曝露か、低濃度長期間にわたる慢性曝露、またはこの両者が組み合わさった形など、様々である。そこで、中毒予防のためには作用機序と病態の進展モデルを予測し、このように複雑な実態にある曝露のどの部分の情報を予防指標として使うかを決めなければならない。

環境発がんの場合、まずイニシエーターかプ

ロモーターかという作用モデルによって考え方が全く違ってくる。イニシエーターというのは、遺伝子のがん化を起こす因子のことで、プロモーターは、がん化した細胞が細胞分裂を繰り返す、次第に大きくなり、ついに臨床的な症状を起こすまでの過程を促進する因子のことである。ただし、以前は両者をはっきり区別して考えていたが、最近では考え方そのものも少しずつ変わってきており、今後はいろいろな発症モデルを同時に考慮する必要があるかもしれない。

まず、比較的考えやすいイニシエーターを想定してみよう。単一ヒットモデル、すなわち1回で十分ながん化を起こすモデルを想定するなら、最初の遺伝子変化を惹起する曝露が大切で、その後の曝露情報まで指標に入れると、かえって雑音を拾ってしまうことになる。複数ヒットモデルの場合には、どの曝露がヒットするかわからないわけだから、曝露が続いている限りヒットのチャンスは増加するので、初回曝露以降の期間の曝露も指標に入れなければならない。この場合は、体内蓄積もヒット確率増加に寄与する場合もあるので、蓄積指標である半減期も考慮にいれなければならない。また、発がんの場合にはヒットするための限界濃度が存在するはずであり、その濃度以上に限って上記の条件を考えてゆかねばならない。プロモーターの場合には、ある時期に継続的に作用すると考えられるので、この場合も発症から遡るある期間について、曝露レベルと曝露期間の両者を考慮しなければならない。

曝露濃度に曝露期間を加味する手法としては、一番多いのが「曝露濃度×曝露期間」という蓄積曝露指数である。「喫煙本数×喫煙年数」で表すプリンクマンインデックスは典型的な例である。筆者自身もたびたびこの指標を使ってきたが、いつも気になるのが、10年も20年にも及ぶ長期間の曝露の場合、果たして最初と最後を同じウエイトで扱ってよいものかという、前述のモデルに関わる疑問であった。これは前述の単一ヒットモデルを想定する場合のことだけではなく、過去何10年にわたる場合には、時代によって曝露の質が違う可能性が大きいことにも関係する問題である。

3) 量反応関係

昭和40年代前半に公害問題が社会的な話題になり始めたころは、ちょっとした環境起因性疾患が判明するたびに、最近のアスベスト問題に対する騒ぎのように、なんでもかんでも大騒ぎをした。このような「社会面見出しの文化」は、公害で全住民が発病するような誤解を与え続けてきた。実際はどんな有害物でも曝露量が少量になれば健康障害の発生は減少するし、塩のような人体にとって必須の「安全物質」でも一度に大量摂取すれば死亡する可能性だってある。このように、環境曝露による生体影響は、量反応関係を示すことが多い。この関係は、図1のように、少量曝露での発症者が少なく、あるところまで行くと急に反応する人の率が上昇し、それより曝露レベルが高くなると、大部分が発症してしまい発症者も少なくなるという、S字状の曲線となることが多い。

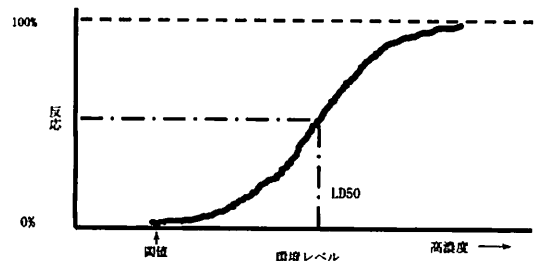


図1 量反応関係

例外的に近年話題になった環境ホルモンは、通常の中毒学では考えられない極微量でも生体反応が生ずるし、アレルギー反応の場合には量反応関係だけでは全てを説明することができない。量反応関係の概念は生理学や薬理学の世界では古くから基本的な原理であったが、環境性疾患の研究に疫学的手法が導入され始めたころから、環境性疾患の量反応関係の考え方が確立されてきたのである。

ある化学物質の量反応関係が確立されれば、環境基準の設定など予防活動を展開するために役立つので、環境と健康を考える際、これは最も重要な概念である。しかし、最初の頃この量反応関係の疫学が成果を上げ得たのは、公害病を起こすような劣悪な環境がまだ存在していた

からであった。次第に化学物質の使用開始時点から環境管理が行き届き、高濃度曝露が存在しないような状況では、故意に人に曝露させるわけにもゆかず、疫学的に量反応関係を明らかにすることはほとんど不可能となる。動物実験の結果を外挿することも考えられるが、多くの場合種差による影響が大きく、人に当てはめても、誤差のため実用にはならない。このように、理論的には量反応関係は環境対策に必須の知見ではあるが、実際に人の健康障害発生を基に確立されたものは極くわずかである。

同じ環境起因性疾患でも、職業環境では一般生活環境に比べれば、人のデータに基づく量反応関係が判明しているものが多く、環境基準を設定する際に職業環境の研究成果から推定する場合が少なくない。それでも、現時点である程度信頼できる量反応関係のデータが入手できるのは、鉛など2～3の重金属類と、有機溶剤の中で比較的古くから使われていたものに限られる。したがって多くの環境基準設定に際しては、限られた曝露範囲のデータからの大胆な推定によらざるを得ないわけである。この場合、かなり低濃度で反応する特異例を根拠にせざるを得ず、環境基準は低めに設定されることが多い。環境基準の性質上、いったん設定されたレベルを引き上げるためには、かなり多くのデータ蓄積が必要だが、いったん低めに設定されれば、それより高い濃度の曝露は起こらないように環境改善の努力がされるから、必要なデータは集まりにくいという相克関係にある。

量反応関係で言う「反応」は、目的に応じて定義すればよいので、必ずしも健康障害である必要はない。例えば、鉛曝露で早期に上昇する尿中プロポルフィリンは、鉛曝露によりヘモグロビン代謝が阻害されて増量するのだが、早期の段階であればこれは可逆的であり、貧血などの健康障害も起きない。このような健康障害ではない早期の生体反応を反応の基準とするなら、低濃度レベルにおける量反応関係を実際に人で調べることは許されよう。とはいっても、他の化学物質でこのような都合のよい指標として使える代謝物質があるとは限らない。そもそも、このような早期の生体反応に関して量反応

関係まで調べる必要もなかろう。図1に示すような増量してくる閾値さえわかれば、環境管理の目安として十分である。

このように実データの入手は困難な場合が多いが、この量反応関係の考え方は、やはり基本的な原理である。またこれは、リスクアセスメントに通じる考え方に他ならない。両者の違いは、量反応関係は、単一の要因にのみ着目した曝露・影響関係の解明で、いわばリスクアセスメントの基礎である。リスクアセスメントは、この量反応関係を基に、曝露人口などの曝露実態を考慮し、他のリスクとの相対比較をする評価・意思決定手法である。

4) 曝露評価

職業病をはじめとする環境性疾患の疫学研究者は、他分野の科学者から観察の正確性・信頼性に関してしばしば疑問を投げかけられる。中でも特によくあるのは曝露把握がいい加減だという批判で、その内容は、測定法があらかじめ精度管理されていない、過去の記録の参照だけで実測していないなどである。しかし、これらの批判の多くは、誤解に基づく不当なものであり、中には論理矛盾そのものといえるものもある。しかし、指摘内容の事実関係に関してはほぼ正確であるだけに、疫学の道を歩むものにとってこれらの批判や中傷は極めて深刻で、これをまともに受けて辞めてゆく若手研究者は少なくないのである。

これらの批判が論理的に間違っているのは、職業病の疫学は、ほとんどの場合、職業病の発生が疑われてから研究が開始されるという基本的事実を見落としていることである。すなわち、研究対象となる職場環境要因は、既に労働者にとって有害の疑いが提唱されており、正確な測定を計画する余裕があるくらいなら、その環境を直ちに改善するほうが優先されなければならない。したがって、一応の対策が講じられた後で過去の測定や健診記録等を参照する、という制約の中でしか研究計画が立てられないのである。

もちろん、有害性の程度によりこの事情は大きく左右される。たとえ有害であっても、良好

悪しは別として、一定水準の管理下で使用されることが長年の経緯から社会的に了解されているものも少なくない。このような場合には、正確な測定のための研究デザインは可能である。ただしこの場合であっても、通常どおり動いている現場の実態を観察するのであって、高濃度環境を設定するような実験的介入は許されるはずはないし、研究のためだけに通常より低濃度に制御することも難しい。

動物実験であれば、想定される量反応関係の存在範囲に、高濃度から低濃度まで何段階かの曝露レベルを設定し、それぞれに発症確率に応じて必要な動物数を割り付ける。こういう発想をそのまま現実社会に持ち込んでも上述のような制約から到底実行に移すことはできないのである。とはいっても、疫学研究は原則を外れて良いということはない。いろいろな工夫をして、欠損する情報の穴埋めをして、できるだけ原則に近い情報を集めて、因果関係や量反応関係の推定を行う必要がある。そこで、種々の制約の中でどのような曝露情報の取り扱いをすべきかについて次に述べる。

まずは、曝露した時代は曝露レベルを推定する有力な情報となる場合がある。通常、新しい製造技術が導入された場合、初期の頃ほど労働者の曝露レベルは高い。また、古い時代ほど化学物質の純度が悪く、主曝露物質以外にも不純物として含まれる不明の化学物質の種類が多くその濃度も高い。筆者が職業性膀胱がんの調査に参加した昭和42年頃、当時の染料工業では α ナフチルアミンを使用していた。今では純粋な α ナフチルアミンは発がん性が無いことになっているが、昭和30年代までの製造技術では、工業薬品レベルで強力な発ガン性を有する β ナフチルアミンを重量比4%以上含有している事実が調査の途中で判明するという経験をしたことがある。

曝露開始日、曝露濃度やその変動の程度などが全く分からない場合には、過去の曝露推定の代替指標が使われることがある。例えば、クロム酸曝露による鼻中隔穿孔は特異性も高く、一定以上の曝露の証拠である。この他、タール作業者のガス斑と呼ばれる皮膚毛細血管の拡張像

や砒素曝露による皮膚色素沈着などは、一定濃度以上の曝露によって起こり、後まで残る症状であることから極めて良い指標と考えられてきた。

このような個人別の指標すら全く分からない場合も多い。こうなると、30～50年以上も前に職業がんの疑われる職場に在籍していたという記録だけで、曝露集団を定義して追跡するのである。それでも、危険度が高い場合には有意差を検出することができる。極めて大まかに言えば、比較危険度が1,000倍以上あれば、分母人口など調査しなくとも症例発生状況を注意深く観察するだけで異常に気付く。100倍の場合、不完全な疫学手法でも検出できる。10倍の場合には、専門家によるオーソドックスな疫学手法が必要で、これが2倍未満になると、周到に計画された厳密な方法をとらないと有意差は検出できないといわれている。

過去の事例ではなく、できれば時々刻々の発生事例をモニターし、できるだけ早く異常発生を検知したいと考えるのは当然である。インフルエンザや薬剤の副作用など、目的疾病や目的曝露が分かっており、診断方法が確立しているものには、リアルタイム・モニタリングが実用化されているものも少なくない。しかし、急速に進む技術革新を考えると、あり得る全ての曝露や疾病をモニターすることは事実上不可能である。

Job-Exposure Matrixはそれに近い試みであるといえるかもしれない。(Obtaining occupational exposure histories in epidemiologic case-control studies. Gerin-M; Siemiatycki-J; Kemper-H; Begin-D, J-Occup-Med. 1985 Jun; 27 (6): 420-6) これはすでにフィンランドやカナダなど幾つかの国で実践されているものであるが、かなり詳細に分類された職種ごとに、その産業に精通している労働衛生工学専門家が曝露可能性のある化学物質をリストアップしたものである。病院の受診症例にしても、がん登録や死亡統計でも、職種さえ分かればこの表を用いて曝露可能性のある化学物質がたちどころに分かるため、症例対照研究を行うことができる。もちろん理論的には追跡研究もできるが、将来に向かって追跡

する場合には実際に調査した方が正確なので、過去を基点とする場合のみしか実際には使われないだろう。ただし、過去のJob-Exposure Matrixは、作成されておらず、できたとしても正確性は劣るであろう。

Job-Exposure Matrixの作成には大変な労力が必要で、実際にそれに見合うだけの成果が上がっているかが問題である。有害性が分からないまま闇雲に全ての職業について取り扱い化学物質をリストアップするのだが、その作業に当たっては当然リストアップするクライテリアが必要である。化学物質ごとに曝露レベルを決めるにも毒性が分からなければ根拠を持った判断基準は作れない。また、同じ職業と言っても、現場によって曝露状況も千差万別であろう。したがって、この方法はかなりの誤差を覚悟しなければならない、有効性には大きな疑問が残る。

たとえ曝露情報がどんなに正確に把握できたとしても、疫学調査は主として過去の事象を介入無しに観察するので、仮説として注目する曝露以外に、研究目的である疾病の発生に関与する多くの要因の関与が考えられる。研究者が最初からこれらの要因の存在に気付いている場合は、交絡要因として、その関与の影響を差し引いて仮説要因の寄与に関する結論を出すことが可能であるが、未知のものについては関与の有無や程度を知ることはできない。これについては、違った研究者が異なる対象集団で、同じ手法を用いた研究を行なった結果でも同じ結論が観察されること、いわゆる再現性・一致性をもって検証する以外にはないのである。

このように述べてくると、疫学に批判的な人はもちろんのこと、まだ疫学に直接触れたことに無い人にとっても、なぜこんな限界ばかりの疫学に時間と研究費をかけなければならないのか疑問を持つことだろう。しかし、医学研究に一度でも真剣に取り組んだことのある人なら、試験管内だけの実験結果はともかくとしても、動物実験やヒトから取り出した細胞を使った実験といえども、実験的アプローチだけでは最終結論には到達できないことを知っている。動物とヒトの種差は、予想以上に大きいのである。また、因果関係の探索ではなく、環境医学分野

で今後必要性が増すであろうリスクアセスメントは、ヒトのデータなしには絶対に結論が出せないのである。疫学的アプローチは永遠に必要であり、特に環境医学にとっては必須の手法である。したがって、疫学の限界を批判するのではなく正しく理解して、疫学以外の方法に精通している全ての研究者が、力を合わせてそれを補う情報を探求するというのが望ましい姿勢である。

3. 因果関係論

急性中毒のように、原因がほとんど単一で、要因が作用してから結果である健康障害が発生するまでの時間が短い場合には、因果関係の判断は比較的簡単である。しかし公害の場合には、急性中毒と比較して低濃度の曝露であることが多く、発生率が低い上に原因が作用してから結果が出るまでの観察期間が延長するため、その間に他の要因が介入する可能性が増え、結果的に調査目的である環境要因が作用した結果なのか、その他第三の要因の変化による見かけ上の発症率上昇なのかの区別が難しくなる。

目標とする結果が、死亡のようなイエス・ノーが客観的に自明のものであれば、観察誤差はさほど心配しなくて良いから、同じ地区の公害の程度が少ない時代の死亡率と、公害がひどくなってからの死亡率を比較してみることも意味があるだろう。しかし、自覚症状の増加ということになると、主観に依存する部分が大きく、いつの時代でも比較可能な自覚症状などというものは無い。どうしても比較対照をおかないと結論が出せないことになる。しかし、この対照群の設定がほとんど不可能といっても言い過ぎではないくらい難しいのである。

つまり、公害によってある自覚症状が増加するという仮説を証明する場合、公害地区とその公害がゼロに近い地区とを選び、その自覚症状の有訴率の比較が必要なわけである。しかし、そのような研究が必要になるということは、その時点で既に公害によってその症状が増加するという疑いが公になっていることを意味している。公害地区の人は健康障害に関心が高く、少しの異常でも訴える傾向となり、非公害地区の

人は関心が無いので症状があっても気づかない可能性がある。つまり、公害地区に住む、住まないということと、健康障害に関心が高い、低いということが関係しているの、健康障害の有無なのか、関心の高さの違いなのかの区別ができないのである。

メンタルヘルス関連の例では、このように結果の解釈が難しいものが少なくない。例えば、長時間残業者にうつ傾向を示すものが多いという調査結果が出たとき、長時間労働でうつ状態になったと解釈するか、うつ状態で作業能率が下がり、同じ仕事に長時間を要するようになったと解釈すべきか、2通りの考え方があり得るのである。

地域住民の場合、時間が経過すると色々な理由で人口の転入・転出が起こる。もし、公害による健康障害が問題になれば、何か症状が出て不安を感じた人は、そうでない人と比べて転出してしまう可能性が高いだろう。ある時間経過すると、公害地区では自覚しない人ばかり残っている状態なり、それを知らずに観察している可能性がある。その結果は、公害地区のほうが自覚症状率が低いということになり、それを鵜呑みにすれば、公害は症状を改善するという主張になりかねない。

パソコン作業で、作業時間と肩こりの頻度の関係を調べたら、長時間作業者ほど肩こりが少ない結果が出た。「こりゃパソコンやれば肩こりが治るということか」などと早とちりしてはならない。もちろんそういう結論も正しい可能性がないわけではないが、反対に肩がこる人ができるだけパソコン作業時間が短くなるように努力した結果かもしれない。

これらは、いずれも1時点で原因と結果両者の測定をした例である。このように原因として想定する現象と、結果である健康事象の観察を同一時点で行うと、ただでさえ複雑な原因と結果がますますわからなくなってしまう。もともと環境要因と健康の関係は、前者が原因で、後者が結果なのだから、適切な時間経過を置いて観察する研究方法をとれば解釈は容易になる。

上記のような極端な例を示せば誰でも問題点はわかるのだが、実際にはこのような間違いに

気づかずに、調査結果が科学的な証拠として利用される危険性がある。疫学では、因果関係論として考え方の整理が行われてきた。

先ず、上記の例のような調査結果から統計学的に有意差が証明されたことがあったとしても、それは「関係」であって、直ちに因果関係とは考えない。「関係」が因果関係と結論されるには、いろいろなクライテリアが提唱されている。最初に提唱され、今でも最も有名なものが、米国政府の公衆衛生局が専門家に依頼して評価した、「喫煙と健康」(1964 Smoking and Health: Report of the Advisory Committee to the Surgeon General of the Public Health Service)の五つの条件である。すなわち、1) 関係の強さ、2) 量反応関係、3) 時間的關係、4) 一致性、5) 生物学的な妥当性である。関係の強さは、例えば相関係数が高いことである。量反応関係は2.3)で説明した。時間的關係は、原因の作用と結果発生の時間関係がこの順序でしかも妥当な間隔であること。一致性は、異なる研究者が異なる集団で観察しても同じ結果が出ることで、生物学的妥当性は、その時点までの医学生物学の知見から、その「関係」が十分説明可能な関係であることである。

4. 予防

1) 予防医学と環境保健

最初に誰が提唱したのは定かではないが、通常予防医学は一次予防から三次予防に分類して説明される。

言うまでもないことかもしれないが、一次予防は原因の除去、二次予防は早期発見・早期対策、三次予防が社会復帰ということになっている。このように、予防にいろいろな段階があるために、予防医学という語の響きの良さに反して、この語を使ったときの意図や期待感が人によってこれほど違う言葉は少ないだろう。とくに、普通の人には三次予防が最もわかり難いだろう。それに対し、一次予防はわかりやすいのだが、疾病モデルによってはこれも議論になり得る。化学物質による中毒や喫煙と肺がんなどを考える時には疑義は無い。生活習慣病などになると複雑になる。血圧測定を脳出血の一次予

防のためにするという人もいる。検査は普通二次予防のために実施すると思っていたが、血圧を測定してその情報を基に健康教育をするのだといえ、なるほど一次予防かもしれない。高血圧（本態性）が標的疾患ならもちろん二次予防であろう。つまり生活習慣病のような典型的慢性疾患を考えると、リスクファクターをどう解釈するかによって、一次予防とみるのか、それとも二次予防と考えるのかが変わることになる。

予防とは少し話がずれるが、健康増進活動の医学的効果を評価するとき、効果のエンドポイント、つまり何をもって改善目標とするかを明確に定義しないと、データをいじくりまわしているうちに何をしているかわからなくなる。普通、健康増進活動を何のためにやるかといえ、循環器病を中心とする生活習慣病を減らすためと考える。そうすると罹患率や死亡率の減少を証明しなければならないが、これは研究者にとっては生涯をかけてもなかなか完結できないほど長期間の観察が必要なことに気づき、すぐにあきらめるだろう。

そこで、血圧や血中脂質といったリスクファクターの改善を指標にすることで代替することになる。これにしてもすぐに結果が出るわけではない。そこで、もう少し早く結果が出るものは無いかと考え、BMI（肥満係数）の改善で評価をしようということになる。このようなストーリーで考えると、この疾病モデルに介在させる検査値や肥満度というリスクファクターが、前の段階や次の段階の現象ときれいに相関していれば問題ないのだが、多くの場合必ず他の要因が交絡要因として介在し、観察値を見かけ上修飾してしまう。そのため本当は効果があるのにそれが証明できなかったり、その逆のことが起こってしまいがちである。

「際限なく増加する総医療費の抑制には予防医学しかない」などなど、最近は「予防医学」は持ち上げられっぱなしである。その結果人々が何をやっているかといえ、健診項目を増やし、新しい検査を人間ドックに加え、「健診病」を新たに作って医療費をさらに増加させているのではないだろうか。

環境性障害の場合でも、有害物を見つけて個別に対策を立てるというアプローチは、現在ではほとんど有効性を失っているということを認識する必要があるだろう。環境改善や健康影響の早期診断の方法を開発する前に、技術開発の方が先に進み、代替物質化、無塵化、自動化、密閉化により、あるいは産業構造の変化に伴う国外移転により、曝露レベルや曝露期間が短縮し、単独要因による健康障害を想定した個別環境対策を講ずる意味がほとんど失われてしまった。今は、複数のより弱い要因の複合的影響を考えることが重要である。

現代社会で個別対策が求められているのは、むしろ三次予防であろう。原因はともかく、一定期間療養を要するような疾病に罹患する高齢者は今後増加する。これらの人をできるだけスムーズに社会復帰させることにより、集団としての平均的労働生産性を向上させ、福祉を改善することが期待できる。ただしこの問題も、最近の労働力流動化の下では、実績を証明するのは大変難しくなっている。産業現場を「場」として捉える手法は、従来の終身雇用という社会慣行下における継続的サービス提供が前提であり、何時でも労働者を「クビ」にできる経営環境下では、単一企業内で経済効果を証明するのは困難である。だから、これからは企業に於いても適正配置に力を入れるほうが説得力に長けているのではないだろうか。

筆者は以前から、「予防は古い」と言い続けて来ている。せっかく周囲から「産業医学は予防医学だからこれから一層重要になる」と評価され始めているのにもったいない、と思う人もいるかもしれないが、誤解は解かなければならない。予防というのは、何か悪いことがあるということを前提に活動する方法である。予防する対象がなくなったら予防という考え方は成り立たない。したがって、今の日本の状況では、予防だけを唯一の行動規範とする医学は機能しない。ただし、決して予防という概念は全て悪いと言っているのではない。

2) 産業保健と環境保健～予防へのアプローチ
公害問題が社会的関心と呼び始めたころ、環

境基準の考え方やあるべき姿が真剣に議論された。それまで一般生活環境にはこのような基準は存在せず、一方、中毒学では急性中毒から少量曝露による慢性中毒に関心が移り、疫学的方法を活用して各種の物質に許容濃度が設定されつつあった。そこで、環境基準設定に際して、先行する中毒のための許容濃度設定のノウハウを取り入れようとした。しかし、この時、高濃度側からの推定と低濃度側からの推定が食い違ってしまうということが問題になった。

無反応域を含めた低濃度から高濃度まで、全ての曝露濃度における量反応関係がわかっている問題は無いのだが、ほとんどの場合、全領域の疫学データが揃っていることは無い。そこで、高濃度側は産業現場における中毒事例の疫学データを、低濃度側は地域における住民健診などの疫学データを使い、両側から環境基準など安全レベルを求めようとしたのである。ところが幾つかやってみると、高濃度側からの推定はどうも低濃度側からの推定より安全域が高く出てしまうのである。おそらくこれは測定誤差や、対象者の選定などバイアスによるものだろうということになった。

この議論は、まさに環境保健と産業保健に共通する大切な考え方であり、リスクアセスメントを進めるときに必ず通らなければならない課題であろう。このように、両分野は隣接領域としてお互いに協力することが必要であり、情報交換が必要なことと言うまでもない。どちらの分野にいても、双方の研究成果は理解できなければならない、その意味では基礎分野を共有しているといえるだろう。

3) 個人別曝露管理

職場の中毒予防では、一般環境に比べて比較的高い環境レベルを問題とする。職場の場合、環境濃度が異なる場所を1日中動き回る作業が多いので、個人別に実際の曝露量を知ることが必要である。そのために作業者個人に携帯させる様々な個人サンプラーが開発されてきた。しかし、保護マスクを着用した場合や、重労働によって呼吸量が著しく増加する場合などには、それでも労働者個人毎の曝露管理には限界があ

る。また、個人サンプラーを装着するのは労働者にとっては面倒なことだし、重量や騒音も結構わずらわしい。そこで、次第にバイオロジカルモニタリング（以下BM）の方に重点がシフトしてきている。BMは、血液や尿など生体試料中の環境中物質やその代謝産物濃度を測定することによって、その個人が吸収した環境中物質の量を観察する方法である。

我が国でBMが取り入れられて以来、これは血液や尿を採取することから、健康診断の一環として行われてきている。したがって受診者のほとんどは健診の1項目と受け止めているし、実施する側のスタッフの多くもそう思っているのではないだろうか。しかし、これは本来曝露管理、あるいは一次予防のために行うのであって、二次予防つまり早期発見のために行われる検査ではない。つまり、BMは影響が出る前のレベルで曝露を管理するもので、もし何らかの生体影響を見る目的なら、それはBMではなく、影響モニタリング（effect monitoring）であり、それこそ健康診断の1項目である。

BMが曝露管理、つまり環境管理のために行なわれるとすれば、それは一種の動物実験のようなものだという問題指摘がある。つまり、本来人が曝露する以前に環境測定に基づいて管理すべきものをBMに変えるとなれば、体内に摂取された有害物のレベルで環境管理の具合を評価することになり、まさに動物実験だというのである。確かにそれだけを取り上げて議論すればこの批判は正しいように聞こえるが、総合的な対策の一環として、他の測定を補完するという意味なら問題はないはずである。

問題の本質は、有害だと分かっている物質を取り扱い、しかもそれらを環境中に放出して良いかどうかの判断にある。環境中の人工有害物については、元来ゼロにすることが望ましい。しかし、これらは人間生活に欠かすことができないものがあるため、各種のレベルで管理をしているわけである。このレベルは、製造や取り扱いを禁止するところから、放射性物質のような厳しい管理、有機溶剤のように一定濃度での管理まで、有害性の程度、代替物質の有無、人類にとっての必要性などを総合的に判断して決

められている。この管理レベル決定の手続きが厳格に正しく行われた上で行われる環境管理であれば、前述のような個人別曝露量の大きな変動の実態を考えると、むしろ、個人別のきめ細かい曝露管理のできるBMが必要なことは理解されよう。

個人曝露やBMは許容濃度と比較して判定される。許容濃度は日本産業衛生学会の許容濃度委員会が検討し、総会決議事項として採択されるものである。歴史も古く、これまでに多くの中毒学者が動物実験や疫学調査を通じて得られたデータをもとに議論をして決めてきたものである。その定義は、健康な通常の労働者が1日8時間曝露しても健康障害が出ないであろうレベルということになっている。したがって、極端に酸素消費が上がるような強度な労働に就いている人や、感受性が高い人の場合、許容濃度以下でも障害が出ないとは限らない。また、他の似たような中毒メカニズムの物質と同時曝露した場合など、この数値を適用する場合の制約条件を承知の上で決めているのであり、そのような可能性に備えるために、健康診断を合わせて実施することを条件としている。

4) 環境改善

環境改善のためには、似たような数値ではあるが、管理濃度や環境基準を基準に用いる世界となる。環境改善活動では、そこで生活している人や働いている個々人のことは取り敢えず棚上げにして、とにかく環境を管理・改善して行こうという活動であり、その場合の管理目標値として用いられるのが管理濃度と環境基準というわけである。

環境条件は工程や気候条件によって時々刻々と変化するものであり、特に作業環境中の有害物質の濃度はその変化が激しい。もとより作業工程の進行によって発散の度合いは経時的に大きく変化するが、発散後も、気流の状況等によって拡散の様子は大きく変わる。また、一般大気に於いても、気温の逆転層があれば、工場等の排気は拡散せず一定の地区に汚染物質が集積してしまう。だから、任意の1点を測っただけでは、全体の実態を把握することはほとんど不

可能である。そこで、作業場の場合には、同一の環境条件下にあると考えられる区域を単位作業場として定義し、その中を一定の間隔で区切った測定点における測定値を原情報として、管理濃度を参照して単位作業場毎に環境測定結果の判定をすることになっている。また、一般大気の場合には、都市ごとに何点か測定ステーションを設置し、そこで一定項目について連続測定を行っている。

作業場の場合には、測定値の変動が大きいことから、5%以下の稀に観測される高値は無視し、95%が管理濃度以下に保たれていればその職場は環境良好とみなし、平均値が管理濃度を超えた場合に改善のアクションを起こすこととされている。また、平均値の管理だけでは不十分と考えられる局所的な汚染があるときには、最も濃度が高い場所で極大値もチェックすることになっている。この考え方は、環境を工学的に管理する立場からは極めて論理的で納得のできる方法である。ただ、一見システマティックに見えるこの方法も、よく考えて見ると幾つか疑問がある。

例えば、大きい単位作業場の場合、多数の測定点が決められるが、これを同時に測定できるほどの数の測定器は通常備えられていない。ある時間差をもって順次測定をして行くことになり、最初と最後では時間的にかなりの違いができてしまう。工程によっては有害物の発生が時間に依存して変化することも多く、このような測定方法ではある時点における真の横断的濃度分布を正しく把握できていない可能性がある。

ただし、環境濃度は変動が大きいので、たとえ一斉に測定できたとしても、測定しなかったときの实態は分からないわけで、もともとこの程度の誤差を気にする問題ではないのかもしれない。事実、現在我が国で実際に行なわれている判定方法でも、実測値に対し、経験則で求めた分散を適用して、母平均の推定値を計算して、変動から来る誤差を考慮した方法を用いている。

その意味では、職場巡視は環境測定の結果が実態と乖離していないかを確かめる貴重なチャンスでもある。たまたま高くでたのか、実態から見て低すぎる測定結果ではないか、検診の結

果と乖離はないか、単位作業場や測定点の決定方法には問題がないかなど、作業環境の実情を十分に知っている人が巡視することによって、作業環境測定の短所を補う機能が期待されているのである。

環境中の有害物のほとんどは人がものを造るために持ち込んだわけだから、環境管理の目的は、その有害物への曝露を可能な限りゼロにすることに置かなければならない。曝露をゼロにするためには、先ず発散を抑制し、それが不可能なら発散したものを排除するなど、環境管理が第一優先である。しばしば経験されてきたように、環境有害物の曝露対策としての健康診断や、個人曝露管理やBMを優先するというのは本末転倒であり、ましてや、公害対策として健康診断を導入しようというのは、もっとおかしいことである。

5. 予防の次にくるもの

1) 正の健康度追求

化学物質による環境汚染は次第に改善されつつあり、ひとところのように多数の住民や労働者が典型的な中毒症状を示す大型の環境汚染はとてあえず終息したかに見える。もちろん、外国に目を向ければ、発展途上国ではかつて我が国で問題になったような環境汚染が進行しており、将来の動向が懸念されるところも少なくない。しかし、我が国をはじめとした国々で既に同種の環境問題が経験されており、対策技術も確立されていることから、大きな問題になる前に対策が講じられるものと期待される。

環境対策は、予防が優先されるべきことは既に述べた通りである。しかし、図2で概念を示

したとおり、この原則は、環境レベルに大きく依存している。すなわち、量反応関係が成り立つ環境レベル以上の場合には、実際に障害が発生するわけだから、個別予防対策が必要であり、それなりの効果が期待される。しかし、それ以下に環境レベルが下がると、環境改善に投資しても、改善は見られなくなることは自明である。

このようなレベルになっても、同じ規模の予防対策を講じたのでは、投資金額に応じた効果は上がらなくなる。我が国のレベルは概ねこのような領域に達しており、そのための問題が生じている。つまり、環境の変化にもかかわらず、いつまでも疾病というマイナスの健康問題ばかりを対象にしてきたことから、次第に環境対策のありかたに疑問を感じる人が増えてきたのだ。言い換えれば、マイナスをミニマイズする活動が限界に達しているのではなからうか。これからは、マイナスを探すことから脱却して、快適生活環境の形成や健康の維持向上を図る、いわば正の方向の探求にも力を入れるべきであり、こういうテーマに環境医学の焦点を変えることにより、再び環境医学の有効性が高まることを期待したい。

ところで、このように活動目的自体が大きさに言えば180度転換すると、同じ環境保健活動といっても、活動様式がこれまでとは大幅に変わらざるを得ない。健康リスクが予想される場合には、少なくとも最低基準は一律強制的に実施することが正当化される。これが快適性の追求となると、一律に実施したのではほとんどの場合最大の効果は期待できない。ましてや実施しない場合の罰則などというのは、まったく受け入れがたいことである。これはほんの一例である。

現在のわが国の環境保健は、実はこのようなとても難しい局面にさしかかっているのである。ただでさえ社会的理解が十分でなかったところに、さらに事態が複雑化しているわけで、専門家が正確な対応をしない限り、社会的理解は得られるはずはない。これまで進められてきた職業病対策の流れを要約すると、古いほうから順に、環境障害の発見、曝露・発症の自然史解明、早期診断法の開発、環境改善となり、これが予

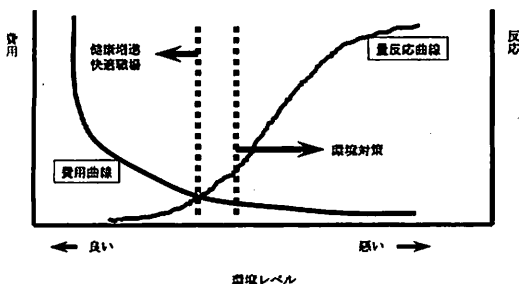


図2 環境レベルに応じた保健活動

防医学的アプローチの体系であった。この流れは、最初にも述べたように、個別有害要因というマイナスの要因に注目した体系である。それに対し、新しい活動目標は、いわばプラスの要因に注目する体系であるとも言える。まずこの変化がなかなか分かってもらえない。

近年行政の音頭で進められてきた施策である「健康作り」や「快適職場作り」はまさにこのようなプラスを目標とする活動である。ところが、この観点からこれらの施策の指針を見ると、大変な違和感を感じざるをえない。たとえば、「健康作り」では肥満や高血圧などのリスクファクターのある人を見つけて、運動や栄養指導などで改善しようとしている。「快適職場」では、職場の不快、不安全要因を探し、それを排除することが謳われている。これでは、本来予算を出させる根拠とするにはかなりの無理がある。

こうになってしまう原因の一つは科学的な理論体系がまだ出来上がっていないからである。学問がぐずぐずしている間に世の中が変わり、一部に必要性が認識されているのに正しい方法が示されていないのである。そこで、プラスの健康度を目標にする活動が、マイナス指標を根拠に行われるというまことに奇妙なことになってしまったのだと思う。

とはいっても、プラスの健康を考えるのは容易ではない。人が誕生してから、いや、たぶん誕生以前から始まり、成長、成人、老化の全ての段階で、健康を制御する要因とそのメカニズムを解明しなければならない。これまでの長い医学の歴史では、大部分のエネルギーが疾病状態解明のために費やされた。もちろんその場合に、病気の対立概念としての健康は視野には入っていたであろうが、直接どの疾病にも関係しない要因は、ほとんど手付かずのままであった。健康科学というと、スポーツ医学を思い出すが、これも、より速く走るといような特別の研究目的に特化しており、ここで論じる内容にはほとんど役に立っていない。

歴史上で人の健康について体系的に研究されたのは、アメリカが月へ人を送り込んだアポロ計画の時だけではないだろうか。この時は、人が宇宙旅行をした場合の、地上とはまったく違

う環境下で健康がどのように脅かされ、それをどう克服するかについて、国策として体系的に研究された。この結果は日本語にも翻訳出版されているが、その本を見ると、我々は人の健康についていかに無知であるかがはっきりと認識できる。(人間一環境系 一人間機能データブック 上・下巻、上巻昭和47年1月25日、下巻昭和48年1月25日発行、監修：科学技術庁(資源調査所)、編集：人間一環境系編集委員会、発行所：株式会社人間と技術社)

本来生理学的なメカニズムが解明された後でなければ、健康度指標は論じることはいないだろう。しかし、人の健康度は、言い換えれば有機体である組織体としての活動レベルであり、構成要素個別の役割が全て解明されていなくても、途中のメカニズムはブラックボックスとして、様々な段階での健康度を観察することができる。これが疫学の強みである。本稿では、あまり各論に入るつもりはないのだが、今後はこのような健康度の例として、疲労しにくい身体、前向きな発想をする心、快眠・快食・快便など、昔から経験的に言われていることを、まず科学的に検討してみる必要があるのではないだろうか。

また、この場合の健康度は通常個人単位で考えるのだが、集団で初めて意味をもつ指標もありうる。個人単位の健康度の合計や平均値が即集団の健康度ではない。個体の健康が構成要素の活動の総和だけで決まるのではなく、総合的な有機的な活動によって規定されるように、組織の場合も、その組織の結びつきが緊密であるほど、構成要素とは別に組織としての健康度が注目される。企業組織は、軍隊やスポーツチームなどに次いで、緊密な組織であるから、個人と同時に組織の健康度も考えなければ片手落ちといえよう。

社会的なコンセンサスが得られた、総合的な健康度指標が確立されれば、健康増進も快適職場も、正当な評価が可能になるし、そうなればもっと普及するはずである。

2) 環境医学とエネルギー問題

典型的な公害問題が解決した後の医学のアプ

ローチとして、負の健康問題だけではなく、健康を創造する正の健康の方向を考える必要性については前述の通りである。それと同時に環境問題として話題になったのがエネルギー問題である。エネルギー問題といっても、石油があと何年持つかという供給量の問題ではなく、廃熱と温室効果の問題である。

人口はこの100年で4倍以上にもなり、1996年の我が国1人当たりエネルギー使用量は、インドの14.6倍以上に当たる石油換算で4.06tに及ぶなど、人類全体で使用する資源・エネルギー量は飛躍的に増大しつつある。ここで近年急速に注目され出したのが地球温暖化である。廃熱による周辺気温の直接上昇もあるが、より大きな問題は、エネルギー使用によって発生する炭酸ガスなどの、いわゆる温室効果ガスである。これが放射冷却効率を下げ、発生した熱を地球上に蓄積させてしまうのである。地球が温暖化すると、氷河や南極の氷が溶けて、氷河湖の決壊による下流域の洪水被害が心配され、海面上昇や津波による被害の可能性が論じられているのは周知のとおりである。

現時点での温室効果ガスによる温暖化への寄与率は、CO₂ 64%、メタン19%、フロン10%の順に高いと推定されている。(Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC 1995.12) この炭酸ガスの大部分が燃焼によって発生するから、熱の産生と保温効果を同時に持つことになり、1997年に京都で開催されたIPCCで、協議に合意した締約国全体として、2008-2012年の間にCO₂を1990年レベルの5%削減することを取り決めた。

1996年の我が国におけるCO₂部門別排出量は、民生(家庭)部門が約2割で、絶対量は産業部門のほうが多い。しかし、対前年伸び率で見ると産業部門は減少傾向なのに対し、民生部門14.8%、運輸部門19.2%それぞれ増加しており、今後家庭や交通機関のエネルギー使用抑制が重要課題となっている。

CO₂濃度は、氷河期には200ppmであったものが、その後は1万年以上の間、平均280ppmで安定していた。ところが、産業革命以降上昇傾向に転じ、現在では360ppmに達している。極めて

短時間に80ppmの上昇が記録されたことになり、気象庁によると、このため100年間に約0.6℃の温度上昇が観察されたという。このままの速度で上昇が続くと、次の100年間で約2℃の気温上昇があり、IPCCはそれによって50cmの海面上昇を予測している。30cmの上昇でも、環境庁の予測では日本中の海浜の57%が海中に没するという。また、4℃の気温上昇が起こると多くの農作物は今のままでは収穫できなくなるので、気温上昇に耐えられる品種が開発できるかによって、食糧問題との関連も心配されるところである。

ひところは、石油の埋蔵量があと40年ということが大々的に報道され、エネルギー源がさし当たって人類生存のキーファクターのように考えられてきた。しかし、石油資源の方は、このところ資源開発による埋蔵量の増加とエネルギー使用量増大の進展とがほぼ均衡しており、現在でも埋蔵量の残り年数に大きな変わりはない。したがって、むしろエネルギーの使いすぎによる環境破壊の方が、今後の人類生存の規定要因と考え直すべきだろう。

1972年のローマクラブによる「成長の限界」報告以来、この20-30年、地球が有限であることがいろいろな事実や、研究の結果明らかにされてきた。人類生存のためには、これまでのような際限なき物質文明の発展はあり得ないこと、したがって、今後は持続可能な発展(sustainable development)を目指さなければならないということは、先進国では当然のことと受け止められるようになってきた。その結果、1992年リオ・デ・ジャネイロ国連環境開発会議や前述の京都IPCCなどの枠組みが出来上がりつつあるのだが、事態はそう簡単ではない。

最大の問題は、途上国の立場である。これらの国々では、国の建設にまだ多量のエネルギーが必要であるし、自立的経済発展のためには先進国が歩んだ道を踏襲せざるを得ないので、これからエネルギー消費が拡大する傾向にある。しかも、これらの国々の人口は先進国の7倍もあるから(国連: World Population Prospects. The 1998 Revision)、もし途上国が先進国と同じ道を歩めば、地球環境に対する負荷は先進国を

はるかに凌駕するものであることは容易に予測される。

現時点で直ちに産業医学が関与できることが多くはないにしても、早晚社会全体がエネルギー問題に具体的取り組みを開始せざるを得ないことは自明である。税制面やエネルギー供給面でエネルギー消費を抑制する政策が実行に移されれば、たちまちわれわれの出番がやってくるだろう。排出してしまってから局所や全体換気をする、栄養を摂りすぎからの運動などの肥満対策、太陽光をさえぎって人工照明をするといった、今までわかっていても手のつけられなかった矛盾は、直ちに解決されるだろう。冷暖房を制限した環境下での重筋労働、資源の再利用、夜勤の制限やサマータイムの導入など、これまでとは違った条件下での労働と健康問題など、環境医学に期待される課題がいろいろと想定される。こうした労働条件、労働環境の変化に伴う健康影響に関する課題には、変化の速度と同じ速さで答えを出すことは困難である。

6. 終わりに

ある閉鎖環境系の中で、特定の種が繁栄すると、ある時点で必ず資源の枯渇または廃棄物の蓄積がその種の生存を終焉させるという多くの例を、我々は生態系の観察から見てきた。人類が他の生物種と違うとすれば、文明を持ち、そのような事実を知っていることである。果たして、知っているがゆえに他の種とは違う道を歩むことになるのか、結局は同じように滅びることになるのか、この時点では到底予想することはできないが、これから人類がたどる道筋が容易ではないことだけは確かである。