酸性雨による被害の現状とわが国への影響

松 井 春 夫*

1. はじめに

酸性雨による各種被害が世界的に徐々にではあるが広がりを見せている。スウェーデンをはじめとする北欧の国々は“森と湖”の国と呼ばれている。国内には無数の湖が点在し、青々と木の繁る森がどこまでも続いている。酸性雨の影響によって、これらの森の樹木が枯れたり、湖沼の水が酸性化して、そこに棲む魚をはじめとする水中生物が全滅している現状を目の当たりにすると、少しオーバーではあるが地球の末期を思わせるものがある。イギリスやドイツなどのヨーロッパの国々、アメリカの東北部やカナダにおける酸性雨による各種被害が有名であるが、厳密には先進国と呼ばれる国においては、もはや酸性雨や酸性霧の影響を少しも受けていない国は皆無といっても過言ではない現状である。

幸いにも、日本においてはこれまで酸性雨や酸性霧による被害はそれほど顕著ではなかった。しかし、歴史的には明治の頃からすでに酸性雨被害が発生している。栃木県では足尾銅山の精錬所から排出された亜硫酸ガスの影響で周辺の緑の山々が枯れはじめ、養蚕業に打撃を与え、ついには禿山になった事実がある。これがわが国の酸性雨被害の始まりとされている。この周辺の山では30年前から緑化工事が進められている。その努力で一部回復しているが、いまだに手がつけられない岩石だけの“植物の繁殖しない死の世界”が存在している。

環境庁は1989年8月、わが国における酸性雨被害の第一次調査結果を発表した。それによれば、“今のところ顕著な被害は生じていない”とされている。しかし、現実には酸性雨や酸性霧の影響と思われる杉やアカマツの枯死、コンクリート建造物からの酸性雨ツララの発生など、酸性雨や酸性霧の影響と思われる被害が徐々に拡

大している傾向がみられる。拡大する地球規模的な環境問題と酸性雨の発生原因やメカニズム、これからの対応策についてなど、私達の研究成果もまじえて紹介する。

2. 地球規模的環境問題

地球規模的な環境問題が世界共通の重要課題として認識され、各国において諸問題に対する対策が真剣に討議されているが、そのきっかけを作った一つの地味な研究成果がある。図-1に示した大気中の炭酸ガス濃度の経年変化の測定である。この図は、第一に、一年を通じて植物の活動が活発な春や夏には、植物の摂取によって大気中の炭酸ガス濃度が減少し、逆に秋や冬には増加すること、第二に、大気中の炭酸ガス濃度が測定を開始した1958年以降毎年確実に増加していることを示している。測定は、太平洋の真中の孤島、ハワイ島にあるマウナ・ロア山(4,170 m)の3,400 mの所にある観測所で行われた。この山は火山活動の噴火で出来た比較的新しい山で、麓にわずかな植物が繁茂しているが、山全体が溶岩流の冷えて固まった黒い岩で覆われており、原始地球を思わせる特異な山である。このような、人為的かつ作意的な影響が少ない所で得られたデータは、現在の地球環境に警鐘を鳴らすきわめて説得力のあるものであった。科学技術の進歩のおかげで、現在において数百年も前の地球大気中の炭酸ガス濃度の分析ができる。これは、南極やグリーンランドの氷の中に閉じ込められている当時の大気を取り出して分析することによって可能となった。これらの分析結果によれば、西暦1800年頃までの

【氏名】 まつい はるお

【現職】 名古屋工業技術試験所放射線部

【経歴】 1965年名古屋工業大学工業化学科卒業、同年通商産業省上級職採用名工試験勤務。1969年より1970年までChalmers工科大学(スウェーデン)客員研究員。環境分析、溶液内の錯形成反応に関する研究などに従事。現在は地球規模的な環境問題に関する研究に取り組んでいる。

平成 2.10.31 受理

Acid Rain Damages in Foreign Countries and its Effects to Japan

Haruo Matsui

* 名古屋工業技術試験所

名古屋市区平手町1丁目(〒462)

図-1 大気中の炭酸ガス濃度の経年変化

大気中の炭酸ガスの濃度は約 280 ppm でほとんど変化の無いものであった。炭酸ガス濃度の増加が始まったのは 1830 年頃からのことである。このまま大気中の炭酸ガスの濃度が増加すると、炭酸ガスの温室効果によって地球の平均温度が上昇し、地球上に存在する水の比率が減少し、増加した水の影響で海面上昇が起り、水没する陸地が増加することなどが心配されている。

地球規模的な環境問題は、このような炭酸ガス濃度の増加問題を筆頭に、フロンやハロンなどの使用によるオゾン層の破壊によって紫外線が強まることによる被害、緑の減少ともなる砂漠化地帯の増大や熱帯雨林の減少問題、人口増大問題、そして酸性雨や酸性霧による各種被害などが挙げられる。これらの諸問題は一見独立して存在しているように見えるが、実はその根の所はつながっており、もとを正せば皆同じ所から出ているように思える。

21 世紀以降、この地球上において人類が共存共栄していくためには、これらの地球規模的諸問題に敢然と立ち向かっていくことが必須条件となるであろう。

3. 酸性雨の発生原因とメカニズム

酸性雨をはじめとする地球規模的環境問題の発生原因はそのルーツを追っていくと、すべては一つの原因に収れんしていくように思われる。人類が地下に埋蔵されて眠っていた化石燃料を取り出して利用することを思い付いたことである。化石燃料の発見は古く、バイブルの中にも石油を思わせる記載があるとされているが、本格的

な化石燃料の利用が始まったのは 19 世紀半ば頃からである。産業革命による手工業から機械工業への発展、華々しい石油産業の発展にともなう、先進国と呼ばれる国々の人々の生活は飛躍的に向上し、“豊かな”生活を甘受するようになった。そして、地球上の人口は爆発的な上昇カーブに乗って増加することとなった。ほとんどの地球規模的な環境問題の発生は、化石燃料の急速でかつ大量な消費と急激な人口増加がもたらしたものに他ならない。

大気中には現在炭酸ガスが約 350 ppm ほど存在しており、それが溶解度一杯に雨水に溶けたときには約 pH 5.6 の値を示す。従って、これより低い pH を示す雨水を酸性雨と呼ぶのが一般的な習慣になりつつある。しかし、炭酸ガス以外にも自然起源の硫黄酸化物などの酸性ガスが少しは存在しているから、pH 5.0 以下の値を示す雨水を酸性雨と呼ぶべきだとの指摘もあり、私もこの説の方が合理的だと考えている。

現在、図-2 に見られるように、地球規模で世界各地で酸性雨が降り注いでいる。私の勤務する名古屋工業技術試験所が所在する名古屋市北部における 1985 年以降の雨水の pH 測定の結果では、pH 5.0 以下の酸性雨は降雨水の 40% から 50% を占めている。また、環境庁による調査結果でも日本各地の降雨水の平均 pH は 4 台を示すところが大部分であり、慢性的に酸性雨が日本列島に降り注いでいることは明らかである (図-3)。これまでのところ、酸性雨の原因は化石燃料の消費にともなう大気中に排出される窒素酸化物および硫黄酸化物に

図-2 世界各地の雨水の pH (1982～5 年)

よるものであることはほぼ間違いないと考えられている。従って、炭酸ガスの排出規制をはじめ、これらの酸性酸化物を可能な限り大気中に排出しないようにすることで先進国間の合意ができていく。わが国は、水俣病、イタイイタイ病、四日市ぜんそくなどの公害病が発生したことなどもあって、公害対策に早くから取り組み、自動車からの排ガスの排出規制をはじめ工場からの排水や排ガス規制を早くから行った。その結果、大気中から硫黄酸化物を取り除く排煙脱硫装置などに代表される公害対策機器や装置の開発に関しては世界一の技術を有している。ジーゼル車などの窒素化合物の排出規制がまだ実施されていないことなどを除けば、現在世界でもっとも厳しく環境問題に対応している国であるといえよう。

雨水の酸性度を表す指標として最も一般的に用いられる水素イオン濃度を示す pH の値は、もちろん雨水中の水素イオンの濃度を表しているが、酸性雨のデータを見る場合には、この pH だけでなく、雨水中のイオン組成全体を監視していくことが大切であると考えられている。日本は四方を海に囲まれているので、雨水の中には海洋由来の Na^+ イオンや Cl^- イオンが含まれている。これらのイオンも含めた、平均的な雨水の組成図を図-4 に示した。同じ量の窒素酸化物や硫黄酸化物が雨水にとけ込んだとしても、それを中和する作用のあるアルカリ性陽イオンの存在量によって雨水の pH の値が変化する

ことを留意しておかなければならない。

pH が 5.0 以下の値を示す酸性雨中の酸性物質の主役は硝酸と硫酸が大部分であると考えられる。これらの硝酸や硫酸は、石炭や石油などの化石燃料を消費することによって大気中に放出された窒素酸化物 (NO_x) や硫黄酸化物 (SO_x) がオゾンや各種ラジカルと反応して酸化されて生じるものが大部分であると考えられている。例えば、

などの式で示されるような反応によって、大気中に排出された酸性物質は酸化され、雨水にとけ込んだり、また、乾性降下物となって直接地上に降り注ぐ、と考えられている。

4. 酸性雨による被害状況

硝酸や硫酸がとけ込んだ酸性雨が長期に降り続くと次のような被害が生じて来る。

1) 建造物や各種施設の脆弱化の促進や摩耗損傷、崩壊を招く。

ヨーロッパの各都市では、歴史的な建造物の摩耗損傷が激しく、その修理や補修におおわらわである。石像の

雨水の pH 値全国分布図

(注) 長期モニタリング地点では昭和59～62年度の短期モニタリング地点では昭和61～62年度の各年度平均 pH 値の範囲である。なお、長期モニタリング地点は、⊙, 短期モニタリング地点は、⊙, で示した。

図-3 日本における降雨水の pH (1985～1987)

図-4 雨水の平均組成 (1985～1987)
pH は 5.1, 点線より右の部分は海洋由来の分を表す

顔が、もはや原型をとどめないほどに摩耗したり、石碑に書かれた文字が判読出来なくなったりしている。また、スウェーデンでは銅製の水道管より銅が溶け出して、その水で髪を洗った少女が金髪が青い髪に変わってしまい話題になったことがあった。日本では、最近コンクリートの建物や施設から炭酸カルシウムが溶け出して、いわゆる酸性雨ツララができる現象があちこちで発見されて話題になっている。

2) 湖沼や河川の水を酸性化し、そこに生息する生物を死に至らしめる。

湖沼や河川の水が酸性雨の影響で酸性化し、pH が

4.5 より低くなるとほとんどの魚類は死滅し、酸性に強い特定の昆虫やプランクトンのみがわずかに生息するのみとなる。スウェーデンやアメリカ東北部の湖では、次のような現象から酸性雨の影響が現れた。釣り人が湖に魚釣りにいくと小さな魚がつかなくて大きな魚ばかり釣れるようになった。釣り人は最初大変喜んでいて、そのうち大きな魚も釣れなくなって、ついには魚が湖から全く姿を消してしまった。そしてこのような湖沼や河川の数が少しずつ増えていった。日本では前述の環境庁調査報告では、調査したほとんどの湖沼が pH 7 付近にあり、pH 5.5 以下の湖沼は 15 湖沼存在したが、これらの湖沼は、いずれも火山や鉱山の影響によるもの、とされている。一方、1990 年 10 月には、長野県得天竜川や青木湖ではこの 10 年間で pH が 0.6 低下し、酸性化しているとの調査結果が発表されている。

3) 森林樹木を枯死させたり、穀物などの不作を招く。ドイツでは酸性雨による森林樹木の枯死を“緑の黒死病(ペスト)”と呼んでその対策に必死である。1982 年には、何等かの被害を受けていた旧西ドイツ国内の森林は 7.7% 程度であったものが、1986 年には 53.7% まで被害が広がり、現在ではほとんどの木が何等かの被害を受けているのではないかとさえいわれている。

また、アメリカの穀倉地帯でも穀物などの収穫が年々減少してきており、酸性雨との関連が指摘されている。

日本では関東一円で酸性雨の影響と見られる杉枯れ現象が観測されて以来、徐々に同様な現象が全国的に広がりつつある。また酸性霧の影響によるアカマツなどの枯死現象も指摘されている。日本は国土に占める森林の面積が約 67% (1989 年度) で、これは約 69% で世界一位のフィンランドについて第二位であることは意外と知られていない。わが国は、森と湖の国に匹敵する森林保有国なのである。もっとも宅地開発やゴルフ場建設などで毎年愛媛県の面積に匹敵する森林が伐採されてなくなっているので、世界第二位の地位もこのままでは近い将来明け渡すことになるかも知れない。このような日本国土全体に広がる豊かな森林が酸性雨の影響で次々に枯死するような事態が生じたら、ゆゆしき問題であることは衆目の一致するところである。なんとしても森林樹木の保護をはかっていかなければならない現状である。この他、人体に対して直接被害を与えたり、生命体全体の生息していくためのサイクルを破壊していくことなどが懸念されている。

5. 酸性雨対策

さて、現実には日本においても酸性雨の被害が少しずつ

現れている以上、それに対する対策が今後重要になってくるであろう。酸性雨をはじめとする地球規模的環境問題を解決するための処方箋は、実はわかっている。簡単なことである。時計の針を逆に回すことが出来れば、ほとんどすべての問題は解決するはずである。それにはまず化石燃料の消費をやめなければならない。現在の快適な生活に別れを告げなければならない。“バック・トゥー・ザ・パスト”が実現できれば、現在問題になっている環境問題はほとんど解決の方向に向かうと考えられる。環境問題が起きてきた根源は、人類が常に進歩発展を目指してまい進してきた結果がもたらしたものに他ならない。進歩発展を逆にして後退をしていくことは、考えられないことであった。原理的に理解が出来たとしても、これを実行していくことは至難の業である。一度手にした快適な生活が捨てられないとすれば、発展進歩の速度を可能な限り落としていくと同時に、姑息な手段と自覚した上で、ちまちまと対症療法的に、現実起こっている現象に対処していく以外に道はない。

現実の対策としては次のようなことが考えられる。

1) 建造物や各種施設の保護:

耐酸性の建造物資材の開発や耐酸性塗料などの研究が盛んになるものと思われる。それらの原料に化石燃料が利用されるであろうことを考えると、なんとも皮肉な巡りあわせである。また車や傘、衣料といったものにまで将来は酸性雨対策が必要になってくるかもしれない。お墓に彫る字も今よりもっと深く彫らなければならない、といった笑えないような事態も生じかねない。

2) 湖沼や河川水の酸性化防止対策:

すでに酸性雨の被害が深刻な国では、炭酸カルシウムなどのアルカリ成分の散布が行われている。わが国でも同様な対策が必要である。それと同時に酸性化機構を解明して、今よりも一歩前進した有効な対策の模索が必要である。

3) 森林樹木をはじめとする植生の保護:

早急に対策の必要な重要課題である。酸性雨による植生衰退の原因の解明と有効な対策が望まれている。現在のところ、酸性霧による樹木の葉などに直接与える悪影響、土壌環境が酸性化することなどによって、これまで土壌の中に固定されていたアルミニウムが溶け出して悪影響を与えるなどの原因が考えられているが、明確な原因はまだ解明されていない。

さて、酸性雨対策の一番厄介な問題はこれが地球規模的な問題であることである。たとえ一つの国がきちんと対策を立て実行したとしても、周辺の国が同じような対策を立てない以上、大気に乗って酸性物質が流入してく

れば自国の努力が水泡に帰してしまうことになる。実は、歴史的にこの問題で数々の国境紛争が起こっている。酸性雨の被害が地球上で最初に問題になったのはスウェーデンをはじめとする北欧の国々であるが、スウェーデンは最初、酸性雨の原因がイギリスや旧西ドイツから大気の移動によって運ばれて来る酸性物質によるものとして両国に対して対策を図るように要求をした。旧西ドイツはこれを受け付けず根拠なしとしていたが、自国内に酸性雨による樹木への影響が現れはじめ調査を開始すると、自国から流出する酸性物質を上回る量の酸性物質が自国に流入することが判明するに至った経緯がある。また 1960 年代から顕在化しはじめたカナダ、アメリカ国境付近の酸性雨被害に対して、カナダ側は、酸性雨を降らす原因はアメリカ五大湖周辺にある工業地帯から排出される硫酸酸化物によるものだと指摘をしたのに対し、アメリカ側はこれを認めず、当時のレーガン大統領、カナダのマルルーニ首相との長い論争が続く結果となった。そして、この間にも酸性雨による被害はどんどん拡大していった。ごく最近では、ルーマニア・ブルガリア国境間で同様な問題が発生している。

実はこのような問題はわが国にも当てはまる重大な問題となる可能性がある。たとえば、中国のゴビ砂漠から風に乗って黄砂が九州地方に飛来することは昔からよく知られている事実である。現在約 13 億ともいわれる世界第一の人口を有する中国で、これまで以上に化石燃料の消費が高まるとすれば、その影響がわが国へ及ぶことは容易に考えられる。実際、中国ではすでに酸性雨による各種被害が出ていることが発表されている。1981 年から全国 23 省、121・自治区で測定が開始された酸性雨の測定結果では、吉林、甘肅、寧夏といった奥地を除く 20 省のほぼ全域で酸性雨が測定され、pH 3.1, 3.8 といった強い酸性雨も観測されている。通産省では、硫黄分を 75% 程度取り除くコストの比較的安い排煙脱硫装置の開発などについて、中国との共同研究などを行っているが、中国をはじめ、近隣諸国との共同作戦が、今後のわが国における酸性雨対策の決め手となってくるであろう。

6. 酸性雨対策研究

私達の研究室では、酸性雨の長期降雨による樹木をはじめとする植生の衰退の原因を究明し、有効な対策技術確立して、植生を保護することを目的に研究を進めている。たとえば、われわれ人間が毎日食事をとって生活をしているように、樹木も土壌の中から必要な栄養源を摂取して生命活動を維持している。酸性雨の長期降雨に

よって土壌内の環境が変化し、必要な養分が取れなくなれば、当然衰退につながる。このような基本的な観点から土壌内の化学変化、それが樹木をはじめとする植生の成長に与える影響を中心に研究を進めている。

わが国の気象の特徴は年間降雨量が多いことである。一年を通じて 1,500 mm から多いときには 2,000 mm 近くの降雨がある。三重県の尾鷲地方では 4,000 mm を越える降雨量を記録することもある。年間降雨量が 250 mm 以下を乾燥気候、250 mm から 500 mm の間を半乾燥気候と分類すると、地球上の全陸地面積の約 55% がこの気候に入る。酸性雨の影響が最初に始まった北欧の国で年間 700 mm から 800 mm ほどの降雨量であり、わが国の約半分ほどである。わが国の大気中の酸性物質が北欧と同じと仮定すれば、わが国は北欧の 2 倍の量の酸性物質が大気中から土壌にもたらされることになる。実はこの雨量が多いことは、酸性雨による被害が拡大していくとすれば大変困ることではあるが、酸性雨の研究を行うには好都合であると考えられる。実際の降雨によって、土壌がどのような変化を受けるのかを実験できる地球上でもまれな恵まれた地域だからである。酸性雨の影響に関する研究では、もっぱら人工酸性雨による実験が行われている。たとえば、ノルウェーではアカマツ林に薄い硫酸溶液を 15 年にわたって散布し、その影響について研究が続けられている。人工酸性雨には硝酸や硫酸と硫酸の混合液が用いられる場合もある。しかし、これらの人工酸性雨と実際の降雨水では、当然微妙な差があることは否めない。たとえば、実際の降雨は毎回異なる組成であるのに対して、人工酸性雨ではほとんど同じ組成で実験を行うことが多い。その結果、結果として起こる現象の解釈を実際の降雨による影響と比較するとき誤った解釈を生じる可能性も含んでいる。実験が可能であれば、実際の降雨によって研究を行うのがベターであることはいうまでもない。

私達は、市街地の草木土壌、典型的な森林土壌、黒ボク土壌、海岸の砂、河川敷土壌などの色々な土壌を実際の降雨水に晒して、土壌内で起こる化学変化を追跡している（写真-1）。これまで酸性雨の影響というと、つい“酸性”が強調されて、水素イオンの影響が取り上げられることが多かった。私達が最も注目しているのは、酸性雨成分の中の水素イオンの対イオンである硝酸イオンと硫酸イオンの挙動である。水素イオンはたとえばアルカリ成分を散布することで中和して水に変えて実質上消滅させることが可能である。ところが、一度土壌内に持ち込まれた硝酸イオンと硫酸イオンは、これを取り除くことはほとんど不可能である。土壌内に無数に存在する

写真-1 各種の試料土壌の降雨水による影響
調査実験フィールド

土壌微生物によって硝酸イオンは一部窒素に変わって大気中に戻っていく場合もある（脱窒作用）。しかし、酸性雨が降り続いて、土壌内の環境が酸性化の方向に変化していくと、土壌内微生物の活動も不活発になっていくことが確かめられている。どんどん硝酸イオンが土壌内に持ち込まれれば、その影響を考慮しない訳にはいかない。硫酸イオンについても同様なことが考えられる。最近の私達の研究結果では、表層土壌内の硫酸イオンと硝酸イオンは、大気中の炭酸ガスの挙動と同じように季節的な濃度変化を繰り返していることが判明した（図-5）。つまり草木の活動が活発な春や夏にはこれらの根によって吸収されて、土壌溶液内の硝酸イオンおよび硫酸イオンの濃度は減少し、秋や冬には増加する。この事実、今後の酸性雨対策にとって留意すべき重要な一つの事項となるであろう。

日本の代表的な木は、杉、松、ヒノキなどである。私

図-5 市街地の表層土壌溶液における
酸性雨成分の季節的濃度変化

達はこれらの木の3年苗を用いて水耕栽培を行い、酸性雨成分の影響を調べている。最近の研究結果では、これらの木に共通して酸性雨成分の多少によって根の成長に大きな影響があることが確かめられた（写真-2）。また、私達の実験結果も含めて、多くの研究によって土壌溶液のpHが酸性に傾くと根の成長が阻害されることも確かめられている。私達は酸性雨の長期降雨によって土壌内で起こる化学変化を更に追求し、樹木をはじめとする植生の保護のために現状より一歩進んだ効果的な方法を見出すべく今後も研究を進めたいと思っている。

7. 地球の未来は？

このままの現状がこれからも続いていくと地球の未来はどのようなものになっていくのだろうか？ 環境の悪化とともに、人口の増大は一大問題である。カナダの西海岸沖にあるプロビロフ諸島にある小島におけるトナカ

酸性雨成分—多

酸性雨成分—少

写真-2 酸性雨成分の影響によるヒノキ（3年苗）の根の成長の比較（水耕 58 日目）

図-6 世界の人口変化(上)とプロビョフ諸島の小島におけるトナカイの頭数の変化(下)

イの頭数の変化を追跡した実験は、地球の未来を暗示していて興味深い(図-6)。トナカイの天敵はオオカミであるが、この島にオオカミはいない。したがって、トナカイは20年間にわたって少しずつ増えていった。20年を過ぎた辺りから急激に頭数が増え、30年を過ぎると2,000頭を越えるようになった。この島の自然が許容できるトナカイの生息数は約800頭と考えられた。許容量の二倍を越えてしまえば、もはや滅亡の道をたどる以外に道はなかった。同じように、地球上にも人類を許容出来る許容量が存在すると、考えられないだろうか? このまま爆発的な人口増加が続けば、人類にも同ような悲劇が起こるかもしれない。

われわれがこの世に生を受けた時には、そこにはすでにこの素晴らしい地球が存在していた。46億年という時間をかけて造り上げた素晴らしい環境が存在していた。太陽系の九つの惑星の中で、生物の存在が確認されているのは、今のところこの奇跡の星地球だけである。われわれはわれわれの子孫にも、この素晴らしい地球と

末永く生存していくことが可能な環境を引き継いでいく義務がある。

8. おわりに

“恵みの雨”, “慈雨”などの言葉に見られるように、古来より雨は天からの恵みものであった。人間をはじめとする生物の生命活動維持に必要な食料源である植物は土を介して生産される。植物が土の中にしっかりと根を張り成長していくためには、降雨によって土の中から養分を溶かし出してくれる水分の存在が必要不可欠である。植物成長の基本は、この土壤溶液の中から必要な養分を取り込むことから始まっている。雨が降ることは、まさに植物にとっての恵みであり、そしてその植物を摂取して炭素同化作用を営んでいる生命体全体にとって大いなる恵みをもたらすものであった。

中国では酸性雨のことを“空中鬼(Kong Zhong gue)”とよんでいる。空からやってきて悪さをする鬼という意味である。本来、雨は空からやってくる神様、“空中神”と呼ばれるべきものである。

神様を鬼に変えてしまったのは誰か?

われわれ人類の一部は“豊かな”生活を得た代償に、地球という奇跡の星が46億年という時間の海の中で醸成してきた生命のサイクルをわずか150年の間に少しずつ壊しはじめたのではないだろうか? 二十一世紀という新しい世紀がまもなく始まろうとしている。生活の“豊かさ”や世の中の“進歩発展”に寄与してきた科学技術のあり方について、一度原点にかえて考え直してみる今がよい機会であるといえるのではないだろうか。

最後に、われわれは多忙な毎日を過ごす中で、少しだけ時間を見つけて次の疑問について考えてみたい。

・人類にとって、今以上の進歩発展が本当に必要なのか?

・化石燃料の使用をやめることは、本当に不可能なことか?

・化石燃料は将来必ず無くなる時が来る。その後はどうするか?

・人類のこれまでの進歩発展は、自然や、人類以外の生物の犠牲の上にのみ、成り立ってきたものではなかったか?

・木が枯れて森がなくなり、湖や川から魚が姿を消し、可憐な花が咲かなくなった地上で、人類だけが繁栄していくことが果たして可能であるのか?