

環境科学

崎川範行
鈴木啓輔

三共出版

環境科学

崎川範行／鈴木啓輔

三共出版株式会社

著 者 略 歴
崎 川 範 行

明治42年 2 月生れ
昭和 7 年 東京大学工学部応用化学科卒業
昭和44年 東京工業大学教授停年退職
昭和44年 日本大学理工学部教授
昭和54年 日本大学停年退職
現 在 東京理工専門学校々長
東京工業大学名誉教授
理博

鈴木 啓 輔

昭和20年 1 月生れ
昭和42年 日本大学理工学部工学化学科卒業
昭和47年 日本大学大学院理工学研究修了
昭和49年 ソニー学園湘北短大助教授，環境科学・
一般化学専攻 現在に至る 理博

環 境 科 学

¥ 1500

昭和 55 年 4 月 15 日 初 版 発 行

© 著 者 崎 川 範 行
鈴 木 啓 輔
発行者 萩 原 町 子
印刷者 堀 正 弘

発行所 三 共 出 版 株 式 有 限 公 司 東京都千代田区
神田神保町3の2

郵便番号 101 電話 264-5711 (代) 振替 東京 1-1065

社団法人 日本書籍出版協会・社団法人 自然科学書協会・工学書協会 会員

Printed in Japan 用紙・王子 印刷・文弘社 製本・徳住

3043—10680—2740

まえがき

第二次世界大戦後、科学技術の進歩が特に大きな期待をもって迎えられ、技術革新によって第二の産業革命がもたらされるだろうと喧伝された時期があった。事実、科学の進歩は目覚ましく、新しい技術を取り入れた産業は軒並みに大きな経済成長を遂げる結果となったが、やがてそれに伴う弊害も現われてきて、公害あるいは環境破壊という問題が世界を通じて重視されることになった。

ことに化学工業など原料や資材を大量に使用する装置工業、ならびに自動車などの交通機関を通じて、その廃棄物質によって人体や環境に有害な影響が現われてきたのであったが、それは1960年代に入って中近東の石油が氾濫し、石油ブームが起こって一段と顕著な様相を示すことになった。これは当然、社会の反省を生み、テクノロジー・アセスメントという動きが起こって、新らしく環境科学とよばれる学問分野が誕生することになったのである。

環境科学は広い科学の領域を含み、公害の原因をもっとも造り易い化学工業に関連した環境化学を筆頭として、生物学、医学、気象学、物理学と総合科学の形をとって展開されつつあるのであって、もちろん原子力工業がそれに含まれるのはいうまでもないであろう。

環境破壊そして環境保全に関して、大学や研究機関で活発な研究が行なわれるようになったのは当然であり、環境科学は多くの大学や専門学校において教育課目として採り上げられ、また環境化学科、環境科学科あるいは公害科といった学科を設置する学校も増加しつつあるのである。

本書はそのような教育機関でのテキストとして、また関係分野の研究者の参考書として利用されるのを目標に執筆を試みたものであるが、著者等の今日に至るまでの経験を基準として、一応、環境科学の全般にわ

たっての解説を行なったものである。共著者の一人である崎川は過去において化学工業保安の業務に携わり、また自動車排気処理や重油脱硫などの研究に従事し、陸水の成分などの調査を行なったこともあるので、本書の作成に当ってはその体験をもとに環境科学の要項をまとめ、一方で環境科学の教育に従事しつつある鈴木が、多くの新らしい資料や統計を収集して、前記の目的に沿ったテキストに作り上げた。

本書はこの分野での新らしい試みでもあるだけに、広く役立てられることになれば、著者等にとってこの上ない喜びであると思う。

なお本書の執筆に当っては巻末に一括して記載した書籍、文献を参考にした。それらの著者に深甚な敬意を表したい。また刊行に至るまでいろいろと配慮を賜った三共出版の西尾文一氏、石山慎二氏に深く感謝する。

1980 年春

崎 川 範 行
鈴 木 啓 輔

目 次

章-1 人類と環境	1
章-2 公害の歴史	12
2-1 農業による自然の造り変えと破壊	12
2-2 家畜による環境破壊	13
2-3 工業の発達と公害	13
2-4 石炭の功罪	15
2-5 鉱山と公害	16
2-6 化学工業の生みだした公害	19
2-7 石油と石油化学の公害	20
2-8 環境保全への努力	20
章-3 近代産業と公害	23
3-1 人口増加とエネルギー需要	23
3-2 燃料産業が生んだ環境破壊	25
3-3 石油の採掘と燃焼	26
3-4 化学工業の生産物と廃棄物	29
3-5 農薬と医薬	34
3-6 都市の開発と環境破壊	37
3-7 自動車公害と航空機公害	38
3-8 原子力開発と諸公害	42
3-9 海洋開発と諸公害	45
3-10 宇宙開発と諸公害	47

章-4 大気汚染とその防止	48
4-1 大気汚染の現状	48
4-2 スモッグ	50
4-3 逆転層	54
4-4 大気汚染物質とその防止	55
章-5 水質汚濁とその防止	62
5-1 人類と水	62
5-2 水質汚濁	64
5-3 水質汚濁の防止	71
章-6 土壌汚染と食品の汚染	74
6-1 土 壌	74
6-2 土壌の維持	75
6-3 農地の育成	76
6-4 土壌の肥沃化	77
6-5 土壌汚染の現況と汚染源	79
章-7 原子力開発と環境問題	85
7-1 核兵器の爆発と放射能汚染	85
7-2 原子力発電所と放射能汚染	88
7-3 放射能管理と廃棄物処理	89
7-4 放射能の利用	91
7-5 放射線の人体に及ぼす影響	92
7-6 火力発電所からの放射能汚染	94
7-7 温排水の処理	95
章-8 公害防止技術とその効果	96
8-1 自動車排気の処理	96

8-2 石炭、石油などの産業用燃料による大気汚染の防止	105
8-3 工場廃水処理	107
8-4 下水処理	111
8-5 騒音防止	112
8-6 プラスチックス廃棄物の処理	114
章-9 公害の測定と分析法	118
9-1 水質の環境基準	118
9-2 生活環境基準項目の測定	122
9-3 大気にかかわる環境基準	130
章-10 無公害エネルギー	138
10-1 太陽エネルギーの開発	139
10-2 水素燃料	143
10-3 無公害自動車	144
10-4 無公害プラスチック	146
章-11 環境アセスメント	148
参考文献	154
索引	156

章-1 人類と環境



我々人類は生物の1つとして、他の動物や植物とともに地球の表面に生活している。そして我々の生活とその活動は、我々が生存する地球表面の環境条件に支配されている。

地球は今から約50億年前にできあがり、最初は熔融状態にあったが、次第に温度が低下し表面が凝固して地殻を生じ、その熔融状態のマグマから分離した水が海をつくり、またマグマから分離した気体が大気を形成した。

原始の地殻、海、および大気は、今日存在する形とはかなり異なったものであったとされ、原始の大気はアンモニア、メタン、水蒸気などが主体であったといわれている。しかし、次第に変化して今日にいたる長い過程でいろいろな物質が生まれ、その中から有機化合物が発生し、水素、酸素、窒素、硫黄などと結びついて複雑な化合物となり、やがてタンパク質が生まれ、それが一種の触媒物質である酵素と組み合わさって生命をもつ物質が生まれた。すなわち生物である。

生命をもつ物質は、外界から自分のからだの成分と別の物質を取り入れ、からだの中で変化させ、自己のからだの成分と同じものをつくり上げて成長し、やがて分れて増殖する。そのような形、機能をそなえた物質を、我々は生物とよぶのであるが、その生物は次第に環境の影響を受けて進化し、数も増えて今日にいたったのである。その進化の原因になった環境条件とは、温度、大気や水の成分、太陽からくる紫外線、宇宙線、また地殻の岩石の中のウラン、トリウム、ラジウムなどから放射される放射線などであり、これらの影響を受けて生物は次第に複雑な構造と機能をそなえるようになった。そしてついに頭脳によってものを考

え、手足を使って物を加工し生産する人類という生物が誕生した。

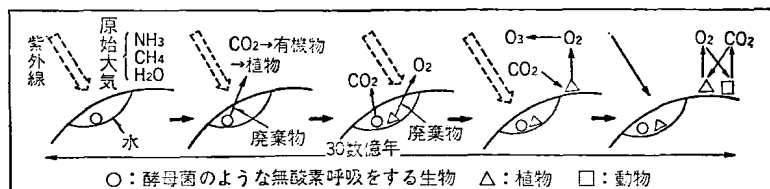


図 1-1 動物が地球上に発生するまでの過程

図 1-1 に示したように、ある種の生物が発生し、その排泄物や遺骸を利用して生存する生物がいて、またその生物の廃棄物をもとの生物が利用するというように、いくつかの生物が物質の循環によって共存するようなシステムを生態系といい、その生態系が維持されていれば環境汚染は発生しないはずなのである。

人類は、他の動植物を食べものとして摂取することにより生存し繁殖している生物であるが、さらに地球環境中に存在する有機、無機物質をいろいろ加工して道具や機械をつくり、また、それらから自然界に存在しない新物質までつくり出して、自然環境を自己の生存と発展に適する状態に次第につくり変えながら、ますます増殖し、知能とそれがつくる技術を発達させてきたのである。そのような人類の増殖と生産活動は、幾何級数的な増加を示し、その力はいまや地球の環境を全くつくり変えるほどの勢いを示している。

このような現象は、地球という惑星の表面に偶然発生したものと考えるべきではなく、地球の上に起こっている、むしろ天文学的な現象であると解釈した方が妥当である。しかし、人類は地球生態系の一員であり、かつその影響力は非常に大きいものであることから、生態系の維持、地球生物の将来に重大な責任をもたねばならないのである。

我々の居住する惑星、地球は非常に大きな物体である。それにくらべて我々 1 人 1 人の人類は極めて小さな物体であって、地球の大きさからくらべれば無視できる大きさであるといえるかもしれない。しかし、人類全体の動きを考えると、今日それは地球に対して決して無視できない

大きなものになっていることが理解できるのである。

地球は、 5.88×10^{21} トンという大きな質量をもっており、南北両極を結ぶ直径は 12,713.510km、赤道の面の直径は 12,756.280km であり、地球の表面積は、だいたい 5 億 1 千万 km^2 と推定されている。その密度は 5.015 であるから、体積は 1 兆 832 億 884 万 km^3 と推定される。地球は元来、宇宙に存在するコスミックダストが太陽の引力にすいよせられ、それらが互いに衝突しあって固まってできあがったものと考えられている。コスミックダストは現在消滅したわけではないから、今日もなおいん石として地球上にふりそそぎ、そのため毎年約 3 万トンずつ地球の質量が増加しつづくと考えられる。

地球の内部は、まだそれほど大きな温度の低下をきたしているのではなく、核心の部分は約 $3,700^\circ\text{C}$ の温度で溶融していると推定されている。そして我々の住む地殻は、わずか厚さ 40km 程度にすぎないので、内部の溶融したマグマが次第に冷却するにつれて、地球上ではいろいろな変化が起こりつつある。火山活動、地震などによっても地殻自体に変化を生じ、またマグマから分離する水分やガスなどによって、地球の海や大気の成分も少しずつ変化をしていくであろうと考えられるのである。

我々が生存するのに絶対に必要な「温度」は、地殻の下に存在する溶融したマグマから生まれてくるのではない。マグマの熱は地球の中にとじこめられた状態にあり、我々の生存するための温度は、太陽から送られてくる放射熱、光などによって生みだされているものである。地殻の中に存在する放射性元素、ウラン、トリウム、放射性カリウムなどが、50 億年前には非常に大量に存在していて、それらの放射能のエネルギーが地球内部にとじこめられて放散されないために、それが熱に変わって地球が溶融していた。その放射性元素が崩壊して、寿命が過ぎていくにつれて、次第に温度が下がって表面が冷却して地殻が形成されたと考えられている。このような現象は現在も続いているのである。地球上の自然放射能は、もっと強かったものが現在の状態に減少したのであり、そ

の状態は今後も変化していくことが推測できる。このように地球は、なお変化の過程をたどり、また太陽も変化の過程をたどることによって地球に起こる我々の環境変化は、今後もしろいろの形で起こってくるにちがいない。

過去においては、氷河期が何回かくりかえされ、多くの天変地異が起こった。ある生物はそれに対処できずに絶滅し、またあるものは形を変えて発達しなおしたのであるが、人類は、自らの頭脳と作業能力によって、そのような環境変化に対処し、生きながらえるという能力を身につけた。多くの自然環境の変化による影響を克服して生きながらえるだけでなく、環境をつくり変え、いろいろな機械、器具をつくり、食物の増産もはかって、ただ一途に増殖し文明を発展させてきた。人間のこうした知恵と努力は、今後起こる環境変化に対しても続けて発揮されるにちがいない。しかし人類は生存のために地球環境に変化を与え、今日では自らの生存に不適当と思われる環境を、つくりだしつつあると解釈することもできるのである。このようなことから近年、人類の環境破壊の問題が重視され、その保全が真剣に考えられるようになったのである。

人類1人1人の重量を 50kg とすると、現在の世界人口が 40 億人に達しているとすれば、人類の総重量は 2 億トンになる。このような大きな量になると、昔、地球科学の元祖であるベルナドスキーが魚の大群、イナゴの大群を表現するのに移動性岩石とよんだが、それなら今日の人類はまさに物を考える岩石、生産活動をする岩石と表現できるわけである。いいかえれば地球という惑星の地殻の一部分であるとも表現できないことはないのである。

2 億トンの人類、つまり 40 億人の人口が 1 日に消費する食糧をかりに 1 人、1 kg としても、その量は 40 億 kg すなわち 400 万トンになるわけであって、その食物は全て地球上の植物あるいは動物のタンパク質に頼らなければならないのであるから、人類が食物を求める行動は、地球の動植物界に非常に大きな影響を与えるのは当然である。そして、それだけの食物をとって排出する排泄物もおそらく 100 万トンに達すると

推測され、それによる水質汚濁など一種の環境汚染も無視することができないものであるにちがいない。

人類は今日、文明生活を営んでいる。都市をつくって住み、自動車、船舶、汽車、電車、航空機などの機械を使ってたえず移動している。また、工場ではたくさんの種類のものを生産するし、家庭ではあらゆる種類の食物を生で食べるのではなく、煮たきをして食べるのである。このような近代生活に人間が必要とするエネルギーは極めて大きいものであって、今日、人類は1年に石炭80億トンの燃焼熱に相当するエネルギー（換算すると 10^{20} cal）を消費している。このエネルギーは、太陽が地球に送りこんでくるエネルギーの何千分の1のオーダーに達しているにちがいないが、その大部分は石油、石炭、天然ガスなど地下に埋蔵されている、いわゆる化石燃料を用いているのである。この莫大な化石燃料の採掘は必然的に地殻の表面に大きな変化をつくりだし、また、大量の化石燃料を燃焼することによって生ずる一酸化炭素、二酸化炭素、あるいは派生的に発生する熱が環境に与える影響は、非常に大きいものとみなさざるを得ない。

何百万年かの昔、人類が初めて誕生したころは、人類という動物は自然環境に対し極めて弱い生物であった。するどい爪や歯、キバやツノをもつわけでもなく、特に強力な腕力や、シカのような速い足をもっていないわけでもなく、他の動物、猛獣などに対しても極めて抵抗力の弱い動物であった。しかし人類は、他の動物とくらべて飛躍的に優れた頭脳をそなえ、いろいろなことを考え計画し、その知力によって自らを守ることができる動物であった。木の上に登って猛獣の襲来を避け、集団行動によって自己を守ることを知り、食物を有利にさがし求めるといったことにより細々と生存してきたと思われる。その人類が頭脳と手を使って木材や石を細工して石斧、石槍、矢じりなどの道具をつくって猛獣の襲撃を防ぎ、動物を殺して食物にし、あるいは木を切り、けずり、家を建てて環境から身を守り、食物を豊かにし、次第にその数が増えるという条件をつくったものと考えられる。さらに画期的なことは、木を摩擦し

て火をつくることを覚え、火を用いることにより食物を豊富にし、土を焼いて土器や諸道具をつくって生活条件を向上させていったことである。

このような人類の行動自身が、すでに地球環境に影響を与えるという行動の始まりなのであって、それが現在の自然を大きく変化させる糸口となったのである。

その後、今から1万年以上前に、自然界のものをそのまま食物として使用するやり方にかかわって、人類は耕作をして作物を栽培する農業を発明した。食物になる植物を選択的に植えて豊かに食物を得ることを可能にし、同時に、牛や羊のような温和な動物を飼いならし、繁殖させ、労力に使い、あるいは食用にする牧畜という手段をもあみだしたのである。この段階から、人類は自然環境に大きな変化をつくりだすことになったのである。

最初の農業は、畑をつくるために森林に火をつけて焼きはらい、麦やイモなどの食用植物を植えたのである。そして、その土地が耕作に適さなくなると、再び森林を焼いて畑をつくる、いわゆる焼畑農業という形で農業生産を広げていったのである。このような行動はたちまちのうちに広い自然界の森林を原野に変えてしまう結果を生み出したといえるのである。アジア、中近東の砂漠は、そのような人類の行動の結果つくりだされたものと解釈されている。同様に、家畜を繁殖させ、集団的にあつめて飼育する牧畜によっても、餌の確保のため自然界を大きく破壊したと考えられている。こうしたことから、今日我々が自然保護や環境保全という問題の中で論じている「自然」は、大部分が本来の自然ではなく、これまでに人類が本来の自然に変化を与えた結果生じた状況であって、本来の自然環境を保全するという意味ではなくなっていることに注意しなければならない。

今日イギリスでは、全国土が広大な草原になっている。スコットランドでは、露出した岩とその間に連なるわずかな灌木と草の荒地しか見られない。しかし300年前にはスコットランドはうっそうとした森林にお

おわれていたといわれ、イギリス全土を通じて巨大な森林資源に恵まれた国であったが、農業、牧畜、さらにその後発達する工業の結果、全ての森林資源が失われてしまったという事情があるのである。ヨーロッパの大陸諸国も同様で、いたるところに広々とした草原が見られ、牧畜が行なわれているが、300年前の昔には北欧の森林のような見事な原始林でおおわれていたのであった。たとえば、ドイツの有名な美しいシュワルツワルトの森は、決してその昔の原始林がそのまま残ったものではなく、いったん伐採された後に新たに植林によってつくられた人工の森林なのである。こういう事情は、日本の田畑にも共通していることである。こうして人類は生存するのに極めて苛烈であった自然条件を、自らの手でつくり変えることによって今日の繁栄を生むようになったのである。

人類が自然環境に大きな影響を与えるようになったのは、以上のような歴史的経過からもわかるように、今日、突然起こったことではないのである。現在、環境の破壊が懸念されて大きな問題となっているのは、人類が住みよい形にいったんつくりだした環境を、新たに工業や近代都市、近代文明の力によって破壊することを恐れているという意味なのである。

しかし、人類が開発した近代産業、近代工業、あるいは化学工業といったものは自然環境を破壊してきたとばかりはいえない。たとえば、化学肥料の出現によって土地の生産性が高まったばかりでなく、作物の連作が可能になり、それまでの焼畑農業から新たな森林の破壊を防いだ。また、産業革命のころになって金属の需要が高まり、金属の精錬に木炭を使用することから大量の森林木材が伐採されていた。しかし石炭を使う製鉄の技術が開発されたことで森林の破壊を救ったのであった。このように石炭はいつも公害の元凶のようにあつかわれているが、その利用が自然の破壊を救ったという事実もあったのである。

このように人類の知恵が生みだす新しい文明、新しい生存条件は、一方で公害とよばれる悪影響を生みだし、また環境を生存に不適当な状況

に導いていく危険性も確かに存在するが、それをおさえ、公害を防止し、再び環境を快適な状況にもどすのも、同じく人類が考えだした科学技術の力なのであって、近代技術、近代産業というものが全て人類の生存条件を悪化させていくものと、決めつけてはならないのである。文明のマイナスの効果を除いて、再び新しい人類の発展に適した環境をつくりだすことが、同じく科学技術の使命であり、人類の文明の1つ1つの動きであることを常に念頭におかなければならない。

しかし現存の世界の産業は、確かに地球上の環境に大きな影響を与えつつあり、場合によっては人類の生存に適さない環境をつくりだしていることもないとはいえない。一例を示すと、燃料の燃焼によって生じる二酸化炭素 CO_2 は、年々大気の中に増え続け、この100年間におよその量が10%増えているとされている。もともと地球の大気に占める二

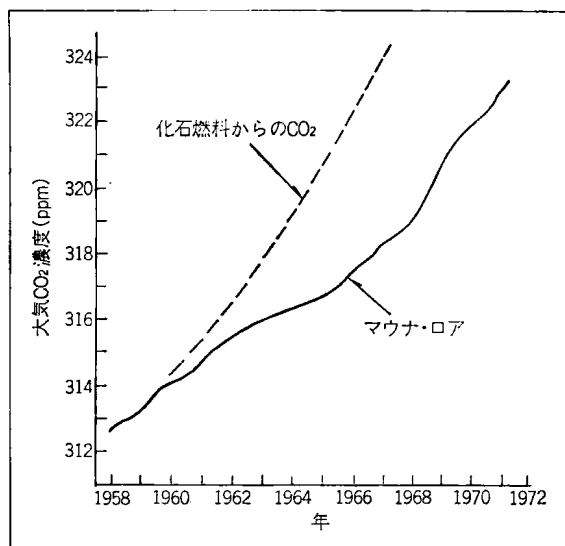


図 1-2 マウナ・ロア観測所における大気中の CO_2 濃度の増加と化石燃料起源の CO_2 (CO_2 濃度は水蒸気を含んだ大気中の値に換算してある。破線は化石燃料起源の全 CO_2 が大気中に存在したときの濃度)¹⁾

酸化炭素量は 0.03% であるから、およそ 0.033% になったというわけである。このくらいの増加では我々の健康には別に影響はないし、植物にも今のところ大きな影響がないようである。だが、大気中の二酸化炭素の増大は温室効果という現象を起こし、地球の大気平均気温の上昇が懸念される。事実、統計によると少しずつ大気温度は上昇を示しているのである。今後さらに幾何級数的に燃料が消費され、二酸化炭素量が増加していくと、200～300 年後には地球の大気温度が平均 4°C 程度増加し、その結果、南北両極の氷が全て溶解して海面の水位が上がり、海岸の都市をはじめ工業地帯や大部分の文明の存在する地域は水没してしまうことも予想されるのである。

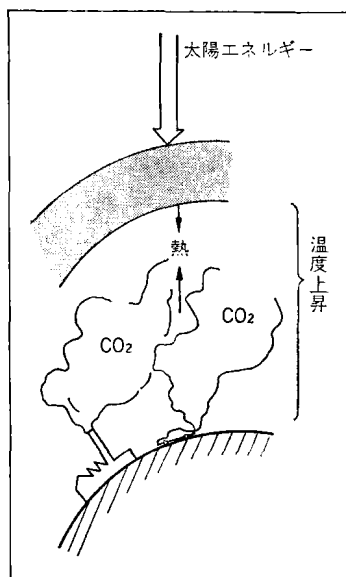


図 1-3 温室効果

このようなことも生態系から考えると、地球上の全緑色植物によって消費される CO_2 量は、本来、動植物の呼吸やそれらの遺骸の腐敗などから発生する CO_2 量と一致しているわけで、常に一定の大気組成を保って生態系を維持していたのだが、前述のような化石燃料の燃焼の著し