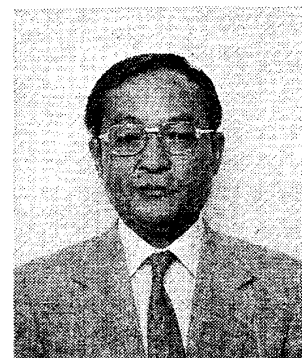


地球環境問題における土構造物と地下水の論点

On Earth Structures and Groundwater
in Global Environmental Problems

佐藤 邦 明 (さとう くにあき)

埼玉大学助教授 工学部地盤水理実験施設



1. はじめに

昨今、地球環境問題が人類共通の話題として世界的に注目され、政府レベルの取組みはもとより国連、関係（研究）機関においても具体的な研究が精力的に遂行されつつある。この主題はもともと人間活動圏の拡大・発展による地球利用への人為的インパクトが好ましからざる反作用（リアクション）、レスポンスとして現れたものと見ることができる。周知のように、従来から先進国では公害という形の環境問題が社会問題となってきた。我が国では、特に昭和30年代の後半から公害は都市化や工業生産の副作用として各地で問題となってきたが、環境汚染・破壊が大気圏、水圏および地圏といった地球規模にまで拡大し、今日に至っている。この問題に対する従来の動きを要約すると、次のようになる。

かつて1972年ローマクラブが「成長の限界」を発表し、人口問題とともに人類活動の成長も地球利用も有限であることを提起した。その後、これに追従するかのよう世界人口、国連人間居住、水、砂漠化防止の各会議、また、船舶による汚染防止および野生動物の移動性の種の保存に関する国際条約、さらに、世界気候や熱帯林会議が1970年代の末にもたれた。1980年代に入ってから国際政治の舞台でもエネルギー・資源、酸性雨、オゾン層保護などに関する共同宣言が発表された¹⁾。現在も、例えば IPCC（気候変動に関する政府パネル）は、①科学的知見、②環境・社会的影響、③対策技術、について検討作業を進めており、WMO（世界気象機関）や UNEP（国連環境計画）などいろいろの機関で取組みが進行している。こういった地球環境問題への国際的な

取組みの背景にあってアマゾン川流域の熱帯林の破壊、西アフリカの砂漠化、ヨーロッパの酸性雨被害、バングラデシュの大洪水といった様々な形での災害および環境反作用が報道された。また、昭和50年代の末から平成元年にかけて干ばつ、寒波、熱波など世界的異常気象が報告されてきた。さらに、海域汚染や土壌・地下水汚染、および爆発的な都市への人口集中などが先進国のみならず開発途上国においても報じられた。

地球温暖化にしても酸性雨の問題にしても決して個々別々の問題ではなく、相互に密接に絡まりあっており、人口問題や人の生産・消費活動のモラルに根ざす広範な課題を含んでいる。したがって、総合的に広い分野にまたがる調査・研究が不可欠で土質工学的諸問題もその一端に位置づけられよう。

こういった背景にあって、地球環境の中でも特に主要な影響があると予想されている都市集中化、気候変化、森林破壊と乾燥、および汚染に注目し、それらにかかわる予測と対策を対象に土構造物と地下水について技術的観点に立って考えてみたい。土構造物といっても堤防・ダムのように水を支えるもの、埋立や盛土のように人工基盤をなすもの、さらにライフラインや地下空間を収納する地盤と多様である。

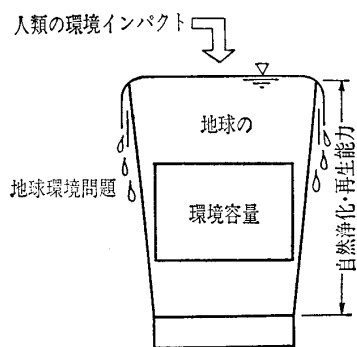
2. 地球環境問題の背景と性格

地球環境にかかわるインパクト入力は大別すると、表1のように自然的なものと、人為的なものに分けられる。問題は、自然浄化・再生作用が人為的なインパクトに耐え切れなくなって、それを人が容認し切れなくなったことを意味する。今日、地球環境問題には二つの背景が見られる。一つは、酸性雨に

論 説

表一 地球環境へのインパクト

要 因 ・ 事 象			
地 球 環 境	自 然	宇宙 地球	太陽, 隕石 火山噴火, 造山運動, 地震
	人 為	開発 化石燃料消費 汚染 オゾン層破壊 温室効果 核利用	地上・地下利用, 森林破壊 CO ₂ , SO ₂ 等放出 陸水, 海洋, 土壌汚染 フロンガス放出 都市活動 原子力発電, 核爆発



図一 環境容量とインパクト

よる森林や湖沼への被害, フロンガスによるオゾン層の破壊, CO₂等による地球温暖化のように主として先進国を中心とした経済活動水準の高度化によるもの, ほかに, 熱帯林の破壊, 砂漠化の進行, 野生生物の減少および発展途上国の公害問題といった開発途上国における貧困, 人口増加(都市集中), 経済発展への志向によるものである¹⁾。要するに, 豊かさによるものと生存に根ざすものである。

図一には地球環境問題の現れ方を分かりやすく図示してある。人類のいろいろな自然環境へのインパクトが環境の浄化・再生の容量を越えると, 環境問題として現れる。環境容量は図中の入れ物の高さによって変わるが, この高さを人工的に増すことは環境保全対策の一つとなる。

今日話題となっている地球環境問題は, いま世界の規模で顕在化している次のような主要な問題を総称したものである^{2), 3)}。

- ① フロンガス等による成層オゾン層破壊
- ② 地球温暖化問題
- ③ 酸性雨
- ④ 砂漠化
- ⑤ 熱帯林の破壊による諸現象

フロンガス等による成層オゾン層の破壊は有害紫外線の直接地表への到達量を増し, 人の健康はもとより生態へ被害を与えるといわれている。地球温暖

化は, 石炭・石油等化石燃料の消費によって大気中へ放出されたCO₂等の増加がもたらす温度上昇である。それによって海面上昇, 気候変化などの影響が憂慮されている。酸性雨は硫黄酸化物(SO_x), 窒素酸化物(NO_x)等が大気中に放出され, 雲や雨滴に溶解して降下し, 森林の破壊, 湖沼の魚類の死滅を招く。砂漠化は森林伐採・焼畑, 過放牧・耕作, 薪炭材生産等による。熱帯林の破壊は伐採による木材生産, 農牧地への転用, 工業立地であり, それに伴い生物種の破壊なども副次的に進む。

これらは地球環境問題の背景というよりその結果の後続的プロセスを述べた感があるが, 地球環境問題には社会・経済・政治体制, 思想・宗教, 文化・民族性といったもっと本質的な人類の生存そのものに根ざすところがある。

従来のいわゆる公害と呼ばれてきたものと比べて, 地球環境問題は, 自国のみの対応では不十分であり, いろいろな点で国際協力・協調が不可欠であること, その影響が政治, 経済, 文化に至るまでほとんど人類共通の問題に及ぶこと, 長期展望に立った計画的対応が必要なこと, および生態科学, 地球科学, 気象学, 工業など幅広い科学・技術が総合的に必要となること, 等の点で違う。しかし, 問題の裾野を支える要素問題や現象の素過程(現象を支配する個々の過程という意味で最近広く用いられている用語)においては従来の方法, 考え方, および科学・技術に共通した点も多いといえる。同時に, 数千年のあいだ人類が歩んだ自然利用による一方的な成長・拡大志向の限界の壁にぶつかっており, 人類歴史上初めての試練であるだけに科学・技術によって何ができ, 何ができないかを考える時期にある⁴⁾。

3. 地球環境問題における土構造物と地下水

地球環境問題の中でも国土基盤に直接かかわるのは, 地球温暖化と森林破壊に伴う気候変化がもたらす海面水位上昇および乾燥と見られている。

まず, 土質工学的視点から地球環境における土構造物の役割に焦点を当てて考えてみると, 少なくとも二つの論点をまとめ得よう。その一つは, 臨海埋立地, ウォーターフロント施設, 海岸堤防, 海岸侵食防御工, 河川堤防など既存の土構造物の強化・補

修といった保守的対応であり、ほかは構造物の移転、改築や土地利用の抜本的見直しも含めて新しい角度からの積極的回避対策である。

CO₂などによる地球温暖化の一つの目安として、CO₂濃度が2倍になった場合、平均気温上昇は3±1.5℃（極域ではその2～3倍）という予想が知られている。それによる海水準上昇は2030年0.3m～1.60mという試算がある¹⁾。ほとんどの土構造物の主要な役割は都市インフラストラクチャー、建築物、諸施設の基盤・基礎ないし、防水を中心とした自然防災機能である。それらの適応技術という立場からすると、土構造物の現状機能の増大（かさ上げ、耐震性、安定性強化、他構造物との整合性など）はもとより将来を見通した設計・計画の見直しが必要となろう。

また、地球温暖化は気候変化による降水、および気温分布の地球的規模における地理的変動・移行をもたらす。水文条件が変わることは、アースダム、河川堤防などの土構造物の機能だけでなく、安定性にも影響が生じるであろう。しかし、最も懸念されるのは治山・治水と水資源にかかわる土構造物に対する長期的な影響予測が困難になることであろう。

一方、地球規模問題の観点からみた時の地下水問題は、一つは水文・水理条件を支える含水・帯水形態と水質であり、ほかは水資源としての量変化に関するものとなる²⁾。既に述べたように、地球環境問題は決して単なる人間活動の拡大とその反作用にのみ起因するわけでない。しかし、一方では、必然的な社会活動は、しばしば盆(basin)単位で収支を論じられてきた。都市の地下は人口の集中と同時に、人工施設、構造物、地下水利用によってゆがめられ、地下水環境に変化を生む。従来、都市化・工業化のインパクトは地下水障害の形で現れ、水資源の集中と地下構造物によって水文条件の変化を生んできた。

次に、地球温暖化による気候変化は海水準上昇を生むだろうと予測されている。これは海岸線変化や沿岸構造物を含め地下水のふ存量、流出、地下水位、土壌水分、水質にも決定的に影響を与えるであろう。

更に、森林破壊と土壌・地層の乾燥について地下水に与える影響は広範に及ぶ。いうまでもなく、地下水の変化は波及的に流出、植生分布、循環気候、生態系に影響を及ぼし、水収支にも変化をもたらす

と思われる。現時点でそれらを地球規模で量的に知ることは難しい。地球温暖化のグローバルな分布も程度もはっきり予測しにくいし、地下水変化の素過程すら不明確のままである。また、乾燥が進んだ砂漠における水収支・生態系も固有の性質をもっている³⁾。今後の長期的な、国際的な、広範な調査・研究体制の整備に期待したい。

土壌・地層と地下水汚染は必ずしも新しいことではなく、古くから鉱山廃液や下水の井戸への浸入などで知られていた。従来の土壌・地下水汚染はローカルに表面化してきたが、昨今では多様化（有機・無機化学物質：200種、放射性核種（放射能をもつ同位元素の原子核を指す）など）している^{7),8)}。また、酸性雨とかトリチウム汚染のようなグローバルな汚染も国際的にとりあげられている。本邦では水質汚濁防止法（平成元年6月改正）によって地下水汚染に新しく歯止めが設けられている。

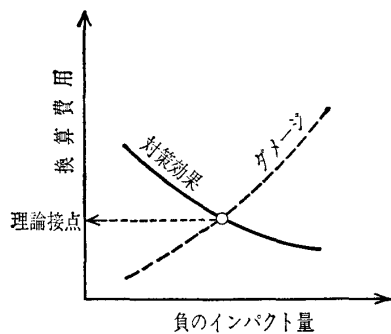
地下水環境問題のように実態がつかみにくく、かつ地道で長期的対応が不可欠な問題については、国際的協力がとりわけて大切となる⁹⁾。同時に地形・水文と地質条件に相応した個々の対策と実践方法が求められる。

4. 取組みと対応

冒頭に述べたように、現状においては地球環境問題は国際的合意形成段階、政府レベルおよび先進的（研究）機関での検討の段階にある。したがって、まだ具体的な対応には及んでいない。我が国においても、平成元年5月「地球環境保全に関する関係閣僚会議」が設置され、「地球環境保全に関する施策について」および「調査研究、観測、監視および技術開発の総合的推進について」の申し合わせがなされている。このように国際的な動きに歩調を合わせつつ関係省庁の緊密な連携の下で総合的に推進されようとしている。

地球環境問題への取組みの方向は、国際的な合意形成を受けて各国がそれに沿って貢献するという方向で進んでいる。しかし、実際には地球環境問題そのものが多岐に及ぶと同時に関係組織もいろいろある。したがって、政府間レベルの会議といっても1本化されて画一的に動いているわけではなく、政治・経済、気象、エネルギー、農業、水文等というよ

論 説



図一 環境ダメージと費用の概念図

うに各分野でそれぞれの角度から検討が進んでいるのは当然といえよう。

さらに、地方自治体レベルにおいては、東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、横浜市および川崎市の6都県市首脳会議が平成元年6月にもたれ、国と協力しつつ地球環境保全に向けて科学・技術を活用し研修、啓もうすることが宣言された。

地球環境問題はその国内国外における対応への総合的大枠が固まれば、個々について気象解明、影響予測、影響評価と対策立案および対策実施へ向けて進むものと考えられる。その歩みから見て具体的な個々の構造物や水の問題をどう技術的に適応するか、あるいは設計をどうするかといった事は今世紀から21世紀へ向けて検討が続くことになる。しかし、対策はかなり長期的かつ膨大な費用がかかるであろうから、何を保全し、どのレベルで評価の接点を見いだすかについて、かなり新しい考え方を今から検討しておくことが肝要となる。技術的には対策費用と環境ダメージの接点をどこに求めるかとなる(図一2参照)。

地球環境問題は人口問題、人間の生産・消費のモラルに根ざす人類に共通したものであるが、この観点から重要なことは環境インパクトの速度がどうなるかを予知して対応することであろう。つまり、地球環境の劣化が非常にゆっくりしたものであれば、対策も実施しやすくなる。逆に速いものであれば対策を急がねばならない。したがって、実情把握と将来予測の精度向上はすべてに先行されるべき課題である。

5. む す び

我が国ではとりわけ第2次世界大戦後の経済復興に伴って、公害問題が重要な社会問題として関心を

集めた。法的対応はもとより工業技術の面からも対策がとられ、諸外国からも注目された成果をあげている。昨今、地球規模で考えねばならない環境問題は、従来のような公害問題とは違った視点から取り組むべき性格のものといえる。この問題は単に個々の公害対策では不十分である。地球温暖化、酸性雨、オゾン層破壊、森林破壊、砂漠化、汚染、都市化といったいずれの問題も相互に絡まっているので人類共通のものとしてしか解決できない。その意味では人口問題、人類の生産・消費のモラル、南北問題といった根の深いものである。したがって、今日国際政治や国際体制による合意作りがなされつつある。しかし、各論的な対策となると、どうしても技術的対応の積重ねが不可欠となるし、広い分野の認識と協力が必要となろう。

なお、本論は先に開催されたアゲール(AGEHR, Association of Global Environmental Hydraulic Research: 地球規模環境水理学懇談会、代表京都大学中川博次教授)における基調講演(地球規模の浸透流・地下水と水理学の関連性)で発表した内容に、加筆してまとめたものである。最近、地球環境について関心が高まり、土木学会平成元年度全国大会研究討論会(地球規模環境問題)、環境庁国立公害研究所公開シンポジウム(地球環境基準の設定にむけて)、地球環境を考える県民のつどい(埼玉県主催)、など各分野および地域活動がもたれつつある。

参 考 文 献

- 1) 竹内均編集：地球クライシス，Newton 別冊，教育社，1989。
- 2) 石 弘之：蝕まれる地球，朝日新聞，1987。
- 3) 環境システム委員会，地球規模環境問題研究検討会資料，土木学会衛生工学委員会，pp.1~9，1989。
- 4) 人間とエネルギー研究会編：地球環境と人間，(財)省エネルギーセンター，図書印刷，1989。
- 5) 佐藤邦明：地球規模の浸透流・地下水と水理学の関連性，アゲールレポート No.1，地球規模環境水理学懇談会，pp.10~11，1989。
- 6) A. グーディー & J. ウイルキンソン著，日比野雅俊訳：砂漠の環境科学，古今書院，1987。
- 7) 山田國廣：ハイテク技術が地球環境をさらに汚染する，地球環境・読本，東京書籍印刷，pp.32~38，1989。
- 8) 日本地質学会・日本地質学会関東支部：地層汚染と地下水汚染シンポジウム講演要旨集，1989。
- 9) Japan Inter. Cop. Agency: Country Reports by Participants of Group Training Course Seminar in Groundwater Resources Development，1988。
(原稿受理 1990.1.18)