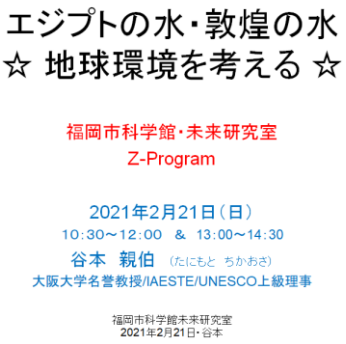
2021 年 2 月 21 日（日）講師・谷本親伯（大阪大学）

福岡市科学館未来研究室 Z プロジェクト・第 3 回講義［事後解説］



１．　終了感想

小中学生対象の午前および高校・大学生の午後、それぞれ参加者 100 名という前提で行った。龍興司会や西村顧問の適切な支援がありがたかった。しかしながら、35 年間、教壇に立ってきた経験では、受講生の息使いを感じながら進めたかったというのが正直な感想である。受講生側から見ても同じ思いがあったであろう。

教科書を用いて、15 週の予定を 1 週ごとに進めて行くような通常の講義では、その内、数回が遠隔（オンライン）講義であってもそれほど差支えがないが、1 回きりの講義では物足りなさを感じる。そこで、本文は、事後の解説を試みるものである。

２．　自己紹介

現役を退き、10 年以上経っているので、特別で新鮮な知見は無いが、35 年の教師・57 年の研究活動を振り返り、過去を思い興すと、現役中には気付かなかった発見がある。複雑に思っていたことが意外と簡単に思えることに多々気づかされる。

先ず、講師は、京都生まれの 77 歳。学部 3 年の後、1 年間、IAESTE/UNESCO の交換学生としてカナダに滞在。高速道路研修と国立鉱山研究所にて研究助手を務めた。京都大学大学院工学研究科修士課程（資源工学専攻）修了後、大手ゼネコン（東京本社）に勤務。主として、トンネル・ダム等の設計・施工に従事。1976 年、京都大学工学部土木工学教室助手として奉職。1980 年工学博士号授与。新工法 NATM の普及に尽力。講師・助教授として、土木施工学・土質力学・測量学・土木数理学等担当。1982-84 年、カリフォルニア大学バークレー校客員研究員。その後、京都大学同教室にて助教授。1997 年、大阪大学大学院工学研究科・地球総合工学・教授に就任。2007 年、定年退職の後、同大学海外拠点・サンフランシスコ教育研究センター長。北カルフォルニ

ア日本商工会議所役員兼務。2010 年、（財）国際高等研究所・主席研究員、2015 年、奈良県立橿原考古学研究所・特別指導研究員、現在に至る。

2004 年度から国立大学独立法人化が施行されたが、それに至るまでに、教育審議員・国際交流委員長として、大学の果たすべき社会的使命について検討を重ねてきた。退職後、直ちに海外赴任となり、カリフォルニア大学 10 キャンパスやスタンフォード大学・ワシントン大学等との交流に努めた。また、シリコンバレーにあって大学の知財活用にも尽力した。

日本から見るシリコンバレーと向こうから見る日本の印象は大きく異なる。彼方からは相手とはみなされず、”passing” され、中・印に関心が寄せられている現実に気付かされた。この原因は、どこから来るのであろうか。これを探ってゆくと、丁度、地球環境問題に対する我が国の対応と共通するものが感じられたので、「地球環境問題」を取り上げ、そして、その中で、これからの若者に感じてもらいたいことを伝えようと考えた。もっと身近で、コンパクトな話題を取り上げた方が良かったかもしれない。

日本の大学生は、質問が少ない。その場で質問することを躊躇している。自分から意見や感想を述べることについて、もし不適当なものであったならば、と心配し、場の雰囲気を壊すことを避けようという消極的な態度がなせることであろう。一方、教育的には、小・中・高の授業において、積極的に意見を述べさせ、根拠を主張して議論する習慣を学ばせてきたであろうか。

また、同時に、ディジタル化、あるいは IT に依存することが当然と考える世情にあって、親たちは果たして、スマホに頼る子供たちを是と考えているのであろうか。講師は、「情報」と「知識」の違いを強調したい。情報が各自の頭の中で、知識に生まれ変わるには、時間とプロセスが不可欠であるにもかかわらず、情報がすなわち知識と思い込んではいないだろうか。

講師は、その任務において、定期試験のレベルから、入試や博士論文のレベルまでの問題作成と採点・査読といった仕事に対峙してきた。知識に至らず、情報が情報に留まっている状況を多々見てきている。それ故、「知っている事」と「分っている事」を敢えて区別したい。これはまた、採点するものにとっても荷の重い仕事である。

すなわち、採点時に正解に合致していることを確認することは容易であるが、間違った回答を見て、なぜ間違ったのか、回答者の思考過程を追おうとすると、正解チェックの 10 倍の時間を要する。この視点を大切にしたい。

ディジタル化の風潮は、即答を求めているだけであり、なぜそうなるのかまでは追求しない。「考える」には時間が不可欠である。しかし、それを無視しているのが現状である。これは、子供たちに「勉強すること」を強制しながら、「頭を使う余裕を与えていない」事に他ならない。筆者は、逆に、小中学・高校生やその保護者に、なぜスマホが必要なのかを問いたいのである。

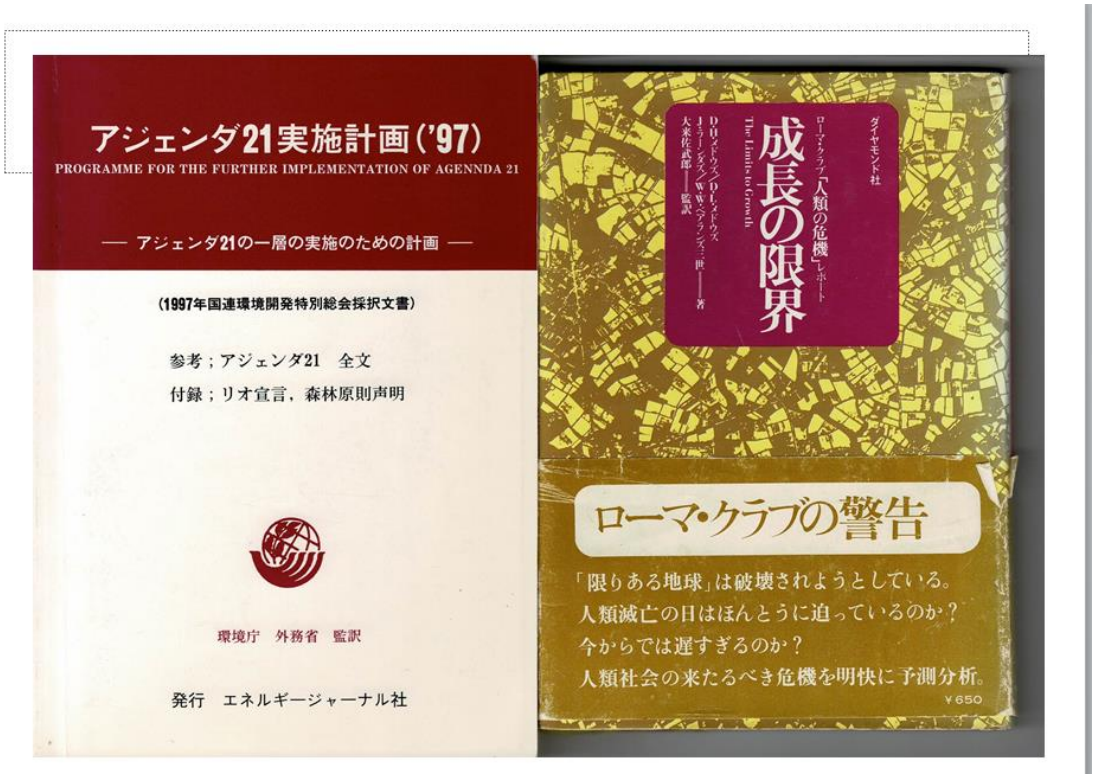
長い自己紹介になってしまった。自己主張というべき。矢継ぎ早に質問が来ること

を期待している。

- 伝えたいこと：教科書以外やるな

①小学校4～6年生：毎日1時間集中する。
②中学生：毎日2時間集中する。好きなことは無制限に。
③高校生：毎日3時間集中する。それ以上やるな。汗かいてよく眠れ。
（自分に嘘つくな）

３．　地球環境問題の背景（末尾の参考資料リスト参照）



実に多くの情報が充満している。講師の考える原点は**「成長の限界」**である。これは、**ローマクラブ**が、**「人類の危機レポート」**として、1972 年に発表したもので、限りある地球が破壊されつつあり、持続可能な社会を今直ぐに構築してゆく必要があるのではないか、と世界に訴えたものである。このローマクラブは、1970 年 3 月にスイス法人として設立された民間組織で、世界各国の科学者・経済学者・プランナー・教育者・経営者などから構成され、政府の公職にある人たちはメンバーに含まれない。

その 50 年後の姿が、現在の**「ダボス会議」**になっているものと講師はみなしている。

当時、世界で初めての本格的な数理経済モデルを駆使してシミュレーションを行った結果を基礎として、「最近の 20 数年間に世界が消費したエネルギーは、有史以来、25 年前に終結した世界大戦までの間に人類が消費したエネルギーの総量に等しいか、それを上回っている。世界は破滅に向かっているのではないか。」と主張したものである。同時に、化石燃料への過度の依存が破滅への速度を加速しているとの指摘がなされた。そして、原子力発電が地球環境保全の立場から推奨され、我が国は、この機運に乗ったのである。これは必然的な流れであったと言えよう。

その後、1989 年、日本の GDP は世界一となり、数年後には、その座を譲った。この時期から、日本は、あるいは日本政府と経済界と限定してもよいが、地球環境を守る必要性は意識しながらも、ハイブリッドカーの普及や有害ガスを発生しない製品などの限定的な分野では成果が見られるが、経済界や日本人の生活様式においては、依然として大量消費を基本とする経済成長に固執してきたと言える。

1992 年、リオデジャネイロにおいて、人口抑制を審議する国連特別会議が開かれ、問題解決に当たっては、人口問題は、地球環境問題に起因し、これに包含されるため、より根源的な解決を図らなければならないとして、課題を提示した。その後、5 年間の間に格別の進展が見られず、改めて 1997 年に**「アジェンダ２１の一層の実施のための計画」**として**国連環境開発特別総会**において採択したものが、いわゆる **AGENDA21** である。これに呼応して、日本の多くの各地方自治体も**「ローカルアジェンダ２１」**なるものを宣言したが、その後のリーマンショックを経て低下した経済状況を反映したのか、今日に至るまで、こういった宣言が実質的に実行に移されたかどうかは疑わしい。

講師が講義した 2 月 21 日の新聞紙上で**「炭素価格付け（カーボンプライシング）**前途多難、新税に環境省は積極的、経産省は慎重、政府内議論始まる」と報じられている。欧米各国では、20 年以上前から実施されている課題である。「家計に負担をかける」からという理由で産業界は反対している。これは、問題を先送りする口実に過ぎないと講師は見る。このような対応では、シリコンバレーが日本、あるいは日本の経済界を無視して中印に関心を寄せるのは当然のことであろう。一般市民はこれに気付いているであろうか。

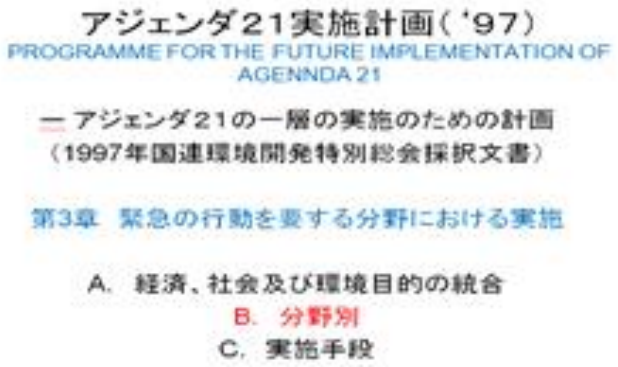
４．　アジェンダ 21 実施計画（‘97）第 3 章
「緊急の行動を要する分野における実施」

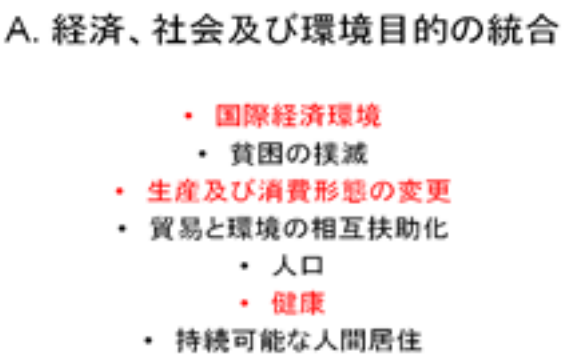
A. **経済、社会及び環境目的の統合として、国際経済環境、貧困の撲滅、生産及び消費形態の変更、貿易と環境の相互扶助化、人口、健康、そして持続可能な人間居住**について記述し、

B. 分野別として、(1) 淡水、(2) 海洋、(3) 森林、(4) エネルギー、(5) 交通、(6) 大気、(7) 有機化学物質、(8) 有害廃棄物、(9) 放射性廃棄物、(10) 土地および持続可能な農業、(11) 砂漠化と干ばつ、(12) 生物多様性、(13) 持続可能な観光、(14) 小島しょ途上国、(15) 自然災害、(16) 人的災害

を挙げている。

今回の講義では、「水」に焦点を当て、講師の経験したエジプトおよび中国・敦煌での知見を紹介した。





５．地球上の水の総量

地球上の水の総量（ x 10³ km³ ）

1. 大気中の水分	13.35	0.000977%
2. 海　　水	1,337,296	97.9%
3. 淡　　水	〈 28,344 〉	〈 2.07% 〉
河川（河道貯留）	3.2	0.000234%
湖　　水	167	0.0122%
土壌水分	45.9	0.00336%
地下水	6,775	0.496%
氷　河	21,194	1.551%
生　物	1.164	0.0000852%
総　量	**1，366，338**	**＝ 約14億km³**

地球上の水は、海水が 98%を占め、淡水（陸水）は、残りの 2%であるが、その内、総量の 1.5%分、すなわち、淡水の 3/4 は、氷雪となって存在している。したがって、地球上の生物は、総量のわずか 0.5%により生きていることになる。なお、地球温暖化により、地球上の氷雪が減少し、例えば南極大陸が溶けてしまうと、海面は 70~80m 以上上昇し、世界の大都市のほとんどが水没することを意味している

６．　米国での一般家庭におけるエネルギーと水の消費量の比較

(1)　カリフォルニアにおける家庭（3 人家族）の月間費用例

前月分の支払い結果、電気代料金、地区での脱炭素付加費（$47.56）、ガス料金、および合計額が示されている。なお、最後に、「月ごとの料金」と「日当たりの平均使用量」も図示されている。消費者に消費実態を理解させる工夫がなされている。

ENERGY STATEMENT
www.pge.com/MyEnergy

Statement Date: 01/29/2021
Due Date: 02/19/2021

Your Account Summary

Amount Due on Previous Statement	$460.64
Payment(s) Received Since Last Statement	-460.64
Previous Unpaid Balance	$0.00
Current PG&E Electric Delivery Charges	$124.64
Peninsula Clean Energy Electric Generation Charges	47.56
Current Gas Charges	312.55
Total Amount Due by 02/19/2021	**$484.75**

（2） 次に、同時期での日本家庭（神戸市、2 人家族）との比較を行った。

日米家庭でのエネルギー消費と費用比較（数値は、円換算）

米国・カリフォルニア（3 人家族）　日本・神戸市（2 人家族）

月当たり費用

電気	ガス	水道	他	総額	電気	ガス	水道	他	総額
13,087	32,818	9,205	4,994	60,103	18,936	6,608	10,461	-	36,005

日当たり費用

電気	ガス	水道	他	総額	電気	ガス	水道	他	総額
436	1,094	307	166	2,003	631	220	349	-	1,200

1 月当たり消費量

電気	ガス	水道	電気	ガス	水道
kWh	立方米	立方米	kWh	立方米	立方米
-	-	-	705	49	22

1 日当たり消費量

電気	ガス	水道	電気	ガス	水道
kWh	立方米	立方米	kWh	立方米	立方米
18.50	4.94	0.6 - 0.9（推定）	23.5	1.63	0.73

単価（円）

電気	ガス	水道	電気	ガス	水道
/kWh	/立方米	/立方米	/kWh	/立方米	/立方米
23.56	221.45	300-600	26.85	135	476

この表では、月当たりの費用、日当たりの費用、1 月当たりの消費量、1 日当たりの消費量、そして、各エネルギーの単価を提示した。日本の場合、脱炭素付加税に相当するものはない。1 日当たりの消費量に着目してみよう。

電気については、（米）18.50 /（日）23.5　[kWh]；

ガスについては、（米）　4.94 /（日）1.63　［立方米］；

水道、（米）0.6～0.9　（推定）/ （日）0.73　［立方米］

となり、ワールドウォッチ研究所が地球白書で報告した 1 日当たりの米国・各家庭での平均使用量 700～800 リットルとほぼ同じ量となる。

こういったデータから**エネルギーの単価**（円）を算出してみた。

電気：（米）23.56 円 /　（日）26.85 円　［kWh］；

ガス：（米）221.45 円 /（日）135 円　［立方米］；

水道：（米）300～600 円 /（日）476 円　［立方米］

水については、カリフォルニアの水源は、2000km 以上離れたシエラネバダ山脈にあり、遠距離パイプ輸送を行っているにもかかわらず、日本とほぼ同じである。

そして、結論として、**エネルギーコストは、日本が米国よりも１５％高い**ことが分かる。これはなぜであろうか。発電コストが高い。また、水の浄化費用が高い？　日米同レベルの家庭であっても所得差は、2～3 倍異なる。そういう意味では、家計費に占めるエネルギーコスト（光熱水費）の割合は、日本が非常に高いと言える。彼の地に合計 5 年暮らした経験では、企業経営の基本理念から発生した差の可能性が高いように思われる。

7．　エジプトの水

エジプトは、ナイルの賜物である。そのナイル河は世界最大の大河であり、全長 6700km、アマゾン川を凌ぐ。白ナイルと青ナイルがスーダンのハルツームで合流し、その後、ヌビア砂漠を北に流れ、アスワンハイダムに至る。そして、アレキサンドリアにて地中海に注ぐ。その間、約 1200km の流域がエジプトの大地である。アスワンとカイロの標高差はたった 85m である。

なお、白ナイルはヴィクトリア湖、青ナイルはエチオピアのタナ湖に端を発する。

また、現在のエジプトの大地は地球の地殻変動の激しい時期に、北に向けてわずかに傾斜し、地下にはヌビア砂岩層という帯水層がほぼ全土にわたって広がっている。講師の調査に拠れば、水平に広がる砂岩層と垂直方向に面を持つ断層群が 3 次元のネットワークを形成し、長期的な水のバランスを保っている。

エジプトの地図を見れば、ナイルから数百キロも離れた全く雨の降らない地域に数千年

間続くオアシス群があることが分かる。その水はどこから来るのであろうか。地下水以外あり得ない。地下水調査時のボーリングの情報から判断すると地下水の流速は、1 日に 3～5m 移動していることが読み取れる。この流速は、ほぼ年間 1～1.5km に相当するからわれわれがオアシスで水を飲めば、その水は 2000～3000 年前にケニア、スーダンエチオピアで降った雨を飲んでいることになる。

エジプトの水

1. 1992年2月、ギザで大喧嘩。スフィンクスの大ピンチ。

2. 砂漠の地下は「水浸し」、ナイル河は85m/900km。

3. スフィンクスは、今日も霧だった。

4. 石は腐る。「神々の指紋」（G.ハンコック著）は嘘八百。

5. 考古学は早い者勝ち。自然科学の眼を持ち込むと面白い。

講師とエジプトとの関わりは、1992 年 2 月、ギザで開催された「大スフィンクス修復保存のための国際会議」に始まる。この会議は、エジプト文化省・考古庁が 10 年以上にわたるユネスコ委託調査結果の是非を世界に問うものであった。1000 名以上の参加者がありそのほとんどは考古学関係者であった。講師には事前情報がなく、1，2 日間は会議の推移を見守ったが、焦点は、大スフィンクスの修復保存にあたり、その表面が風化して薄紙が剝がれるように劣化しているので、全体をプラスティック膜で覆い基礎の部分はコンクリート版に置き換えようとしていると理解したので、母材となる石灰岩の性質から考えると最悪の案である。絶対やってはいけない事であり、反対する旨意見を申し述べた。会場からは猛反対にあった。1 対 1000 の戦いであった。

翌日、講師を支持する 1 名が現れた。「地質を専門とする者であるが、彼の言い分はもっともである」と。実は後で分かったことであるが、ムバラク大統領の科学顧問であった。2 対 1000 の戦いは続いた。相手の言う根拠を追求した処、なにも出ず、結局、最終日に、ユネスコ案は保留となった。

そして、1 週間続いた会議が終了したその夜、晩さん会が開かれその席上、考古庁長官が講師の所に来られ、謝意と共に「ではあなたなら、どうすればいいとお考えですか」と問われ、「一体どのような環境であるのか、それを調査してから答えを出したい」と返事したら「ではやって下さい」ということになった。これが調査の始まりであった。

大スフィンクスは、もともと最初から意図して造られたものではない、これが講師の見解である。その理由は、素材となる石灰岩層が脆弱で、ピラミッドに使われている石材とは異なり、使い物にならなかった。全部除去されても不思議ではないが、おそらく建造に当たる者が少し手を加えて大きなスフィンクス像に削り上げたのではないか。ピラミッドは均質な石材を積み上げたものであり、大スフィンクスは地層を削って掘り出したものである。調査のため、講師は夏季 2 か月間、ピラミッドの見えるホテルに宿泊し、早暁からスフィンクスを見ていると、3～4 日に一度は短時間ではあるが、周囲に霧がかかり、なにも見えない時間帯があることに気付いた。これは、地下水が蒸発していることに他ならない。その地下水はどこから来るのか。ナイル河の浸透水か、これと連なる先述のヌビア砂岩層の貯留水と考えられる。いずれにしても、乾燥地帯であっても地下水は存在する。地表に近い水は速く蒸発するだけのことである。

貴重な文化遺産を損傷しないように世界ではじめての電気探査を実施した。これによりスフィンクスのピット内での湿気の多い部分との照合ができ、また、蒸発量と地下からの供給量が測定できた。こうして地下水、あるいは地下からの水分と言うべきか、水分が間隙の多い石灰岩の風化に寄与していることが確認できた。

なお、上述した国際会議での論争において、講師は「大スフィンクスの胸の部分は、1 年間に 3～5 ミリの速度で風化している」と指摘した。考古の人達はまったく信じなかったが、後日、スフィンクスの監視員(Inspector)が 100 年間の写真を確かめた処、少なくとも 1 フィート（30 ㎝）は無くなっている事が判明している。

もう一つ、付記しておきたい。1990 年代、イギリスのジャーナリストである G.ハンコックが「神々の指紋」なる著書を記し、ピラミッドや大スフィンクスの建造年代は 1 万年以上前に遡ると主張し、これが世界のベストセラーになった。降雨でなくとも地下の水分の影響があることが分かっていれば、このような言い分は通らなかったはずである。自分にとって都合のいい事だけに着目した先入観のなせる処であろう。

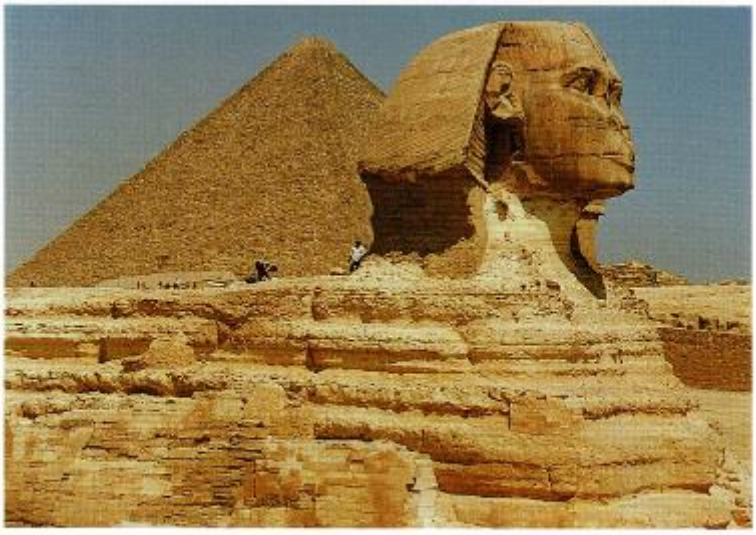


写真 4　ギザ台地上の大スフィンクス（高さ20 m。石灰岩層を刻んで建造。成層状態が確認できる。背景は，クフ王のピラミッド。）

写真 5　風化の進行する大スフィンクス顔面下部および頸部（特に，頸部は薄葉紙を剝ぐように剝離している。頭部は頸部より硬質で風化による多数の凹が見られる。）

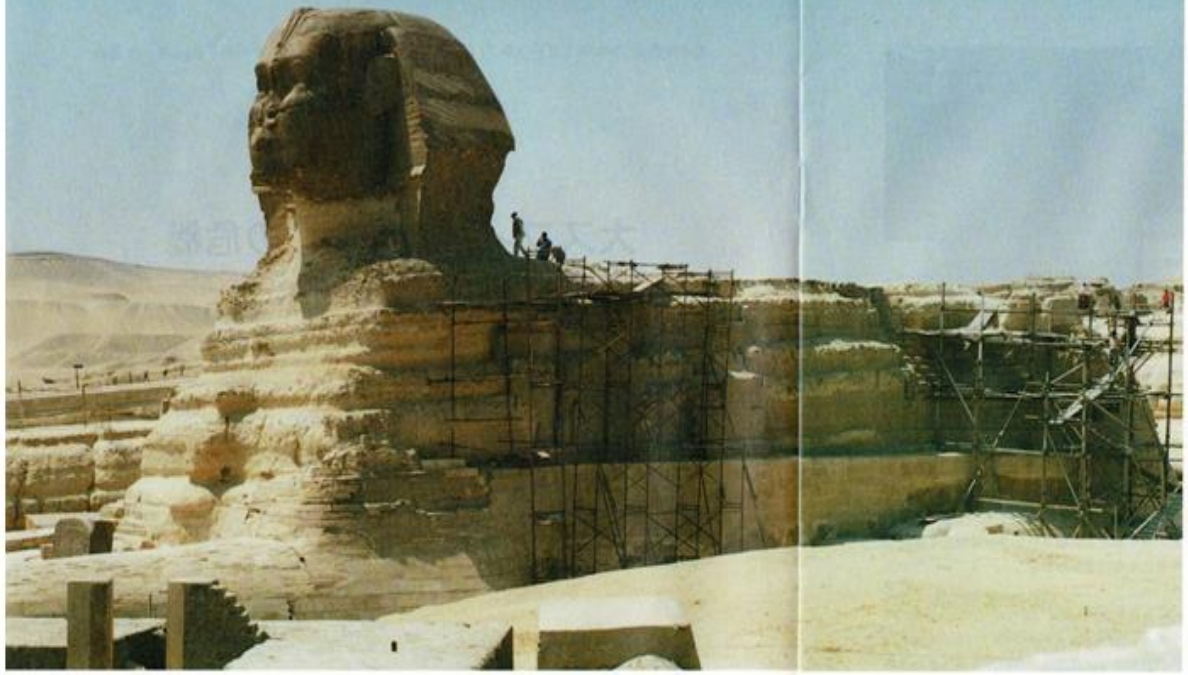


写真-1　ギザ台地上の大スフィンクス
高さ20m，石灰岩層を刻んで建造．背景は，右側がクフ王，そして左側がカフラー王のピラミッドである．

大スフィンクス崩壊の危機

—岩盤力学を中心とした学術調査の役割—

Save the Great Sphinx from Serious Deterioration

—Rock Mechanics Proposal for Organizing Japanese International Mission—

谷本親伯｜**Chikaosa TANIMOTO**

（正会員　工博　京都大学助教授 工学部土木工学科）

図-1　ナイル河断層系，古代エジプト遺跡および最近の地震
（震央 P：1992年，Q：1981年）

1. 何故，学術調査が必要か？

約4500年前，エジプト・ギザに建造された大スフィンクス（**写真-1**）は，近隣のピラミッド群とともに世界の貴重な文化遺産である．この大スフィンクスは，ピラミッド建造時に石灰岩ブロックを産出した台地を掘削してできたものである．比較的地質年代の若い始新世の海成石灰岩層を刻んだもので，約200年前，ナポレオンのエジプト遠征時には首まで砂に埋まっていた．全身が掘り出された現在，著しい劣化・風化が認められ，これを維持・管理するエジプト考古庁をはじめ，関係諸機関では現状のまま放置することはきわめて危機的な状況であるとの懸念が高まっている．

そこでエジプト政府は，国際的にこの問題を討議すべく文化省考古庁を中心として，1992年2月29日より同3月3日まで，ギザ市にて「大スフィンクス修復・保存に関する第1回国際シンポジウム」を開催した．日本からは，早稲田大学

が招待を受け，筆者も吉村作治氏(早稲田大学助教授，考古学)とともに出席する機会を得た．会議では，劣化の要因についても言及されたが，岩盤力学の専門家はごく少数で修復の具体案につながる十分な説明はなされなかった．筆者は，これに対して定性的考察だけでなく，定量的考察の必要性を述べ，まず修復・保存を前提とするモニタリングと岩盤力学に基づく学術調査の提案を行った．本文は，国際会議の内容と早大隊員として赴いた過去の現地調査の結果から，大スフィンクス等古代エジプト遺跡の現状を伝え，国際貢献のひとつとして修復・保存のための学術調査の促進を訴えるものである．

2. ナイルは大地溝帯の一部か？

5千万年前までは，エジプトは海面下にあった．大地は，変成岩・火成岩などの基岩の上に砂岩が中間層として形成され，その上に石灰岩・頁岩・粘土などが堆積したもので，これを刻んでナイル河が流れる．LANDSAT 写真と地質図からナイル河の流路について考察すれば，図-1に示すように大地溝帯の一部である紅海，スエズおよびアカバ湾の方向とほぼ一致する．巨視的には，ナイル両岸の断層は，ほぼ東西に開口

写真-2　クフ王ピラミッド直下の断層
断層の開口幅は約50cm，地表面では石灰岩ブロックを整形し，空隙に砂を充填した後，三角形状の栓を施している．

写真-3「西の谷」より望む「王家の谷」西側の段丘
段丘の高さは約70m，中央部屋頂部分にアメンホテップ III 世の墓の入口が見られる．

する傾向があり，中規模領域では東西系および南北系の断層が卓越している．古代エジプト遺跡の多くは，ナイル河沿岸に分布し，断層運動の実体を調査することが文化財の長期保存につながる．

たとえば**写真-2**は，世界最大のクフ王ピラミッドの真下に認められた南北系の断層であり，開口幅は約 50cm でピラミッド建造時には砂を充填し，開口部を石灰岩ブロックで栓をして基礎造りをしたものと思われる．

3. 古代エジプト人は，どのように岩盤を切削したか？

ピラミッド，スフィンクス，オベリスク，あるいは地下墓等古代エジプトに建造された岩盤構造物は，その巨大な寸法だけでなく，建造技術や仕上げの見事さに感心させられる．さらに，岩盤特性や掘削・切削方法，運搬方法，構造物としての寿命等興味は拡大する．

断層や節理等の不連続面の存在は，構造物の安定性や長期寿命の見地からは好ましいものではないが，ギザ，サッカラ，ルクソール，そしてアスワン地域の古代遺跡とその地形・地質的環境を観察していくと，断層や節理等の不連続面の存在がなければ，当時の原始的な道具のみでは掘削できなかったと推察される．すなわち，不連続面の分布と方向が最大の立地条件であった．ギザ地区クフ王の大ピラミッド(高さ 146m，基底部辺長 230m，2500 B.C. 建造)の建造には膨

写真-4　地下王墓内の節理
節理を利用して次の部屋への掘削を進めた．

写真-5　地下墓内残柱の破損状況
材料試験時に認められるのと同様の共役な滑り面が見られ，3400年にわたる長期載荷試験とみなせる．

大な量の石灰岩ブロック(約 230 万個)を切り出すために広い崖面(断層)が不可欠であったと考える．

また，カイロよりナイル河を南へ約 600km さかのぼると古都ルクソールがある．このナイル西岸にツタンカーメンをはじめ多くの王の岩窟墓(地下墓)が建造された．王家の谷である．その西側に「西の谷」があり，**写真-3**に示す段丘下，約 100m の地下にアメンホテップ III 世の墓がある．**写真-4**は，その中の最深部に位置する側室内の節理を示す．亀裂調査を行ったところ，各空洞に通ずる開口部すべてに明瞭な亀裂が認められ，開口幅が一様であることと相対的なずれが認められないことから掘削前から存在する節理であることが判明した．このことから，地下墓の建造にあたっては，既存の節理を手がかりとして掘削を進めたと判断される．

さらに，もうひとつ興味深い発見があった．玄室および側室内の支保として地山の一部を残した残柱の破損状態である．まさに，約 3400 年にわたる柱状供試体の長期載荷試験である．この不安定現象は，玄室東側の側室から始まった(**写真-5**)．非常に静かに，また，ゆっくりと載荷されたと考えられ，共役なすべり面が明瞭に認められる．このような事例は建造の立地条件を示唆するとともに，遺跡の長期安定性を推察する上で重要な情報を提供している．

また，アスワンハイダムの北東部に「未完成のオベリスク」がある(**写真-6**)．これは，一直線に伸展する節理を利用して切削を始めたところ，先端部から新たな亀裂が見つかり全長を大幅に短縮せざるを得ない事態に陥り，作業が中止されたものである．完成していれば，長さ 41.75m，重さ 1 152t の世界最大のオベリスクとなっていたはずである．ちなみに，ルクソールのアメン神殿にあるハトシェプスト女王のものは高さ 30m，重量 315t，ルクソールからパリのコンコルド広場に移されたオベリスクは高さ 22.83m，底辺 2.44m である．アスワンの未完成オベリスクは，依然として元の採石場に，先端を北東東(N70°E)に向けて放置されている．岩質は，一般にアスワン産赤色花崗岩と呼ばれているが，分析してみるとラパキビ型眼球片麻岩であった．

以上のようにエジプト大地の主要部をなす石灰岩層そして基岩に認められる断層，節理の分布状態は，現在でも続いている地殻変動の実体を示し，次章の地下水の影響にも関係する．

4. 大スフィンクスの寿命は？

大スフィンクスは，クフ王の後継者カフラー

のピラミッドの建造時に併せて造られた(**写真-7**)．その大きさは，高さ 20m，底部の幅 15m，前脚を除く胴体部の長さ 55m であり，自然の地盤を削ったものである．ゆるく傾斜した堆積層の方向が分かる(**写真-8**)．材質は始新世のマーディ層と呼ばれる石灰岩であるが，ピラミッドの表面や内部の空洞部の天井や壁面に使用されたモカタム層の石灰岩に比べ，少し年代が若く，脆弱である．

風化・劣化の主たる原因は，次のようである．約 7～8 千万年前より海底で生成され始めた石灰岩は，5 千万年前頃地殻変動により隆起し，陸地になった．生成期間が短く構成粒子の結合力も弱い．ギザ台地には明瞭な褶曲運動が認められ，向斜軸が存在する．したがって，若い材質の石灰岩層には，褶曲運動による潜在的亀裂が多数発生していることに加えて，含有される塩分が，新たな水分の浸食に晒されると塩分が溶出し，次に水分が消失すると石灰岩層の多数の微細な空隙の中で再結晶化し，これに伴う膨張現象が内部破壊を促進している．次に，ギザは，広大な台地であることから，強風が吹くことが多い．スフィンクスの形状から頭部周辺で渦流を発生し，浮流する砂とともに表面を研磨する状態となる．

さらに，筆者は先述の国際会議で，スレーキングを指摘した．これは，固結力の低い軟岩に認められる現象で，岩石内部の微細な亀裂や空隙中を水分が移動することにより発生する劣化である．一般に，ギザ台地はきわめて乾燥した

写真-6 アスワンの未完成オベリスク
一直線の節理を利用して切り出しを始めたが，先頭をゆく見物人の足元付近に出現した亀裂のため，作業を中止した．岩石は，一般に赤色花崗岩と呼ばれているが，実はラバキビ型閃緑片麻岩．

砂漠地帯とみなされるが，実は地下水位が高く，気温が 0 ℃近くになる冬期の早朝は，車の運転に支障をきたすほど湿度が高くなる．ほぼ 100 % と言える．そして，日中の気温の上昇とともに大気中の湿度は 30～40 % 位に低下する．そして，日没後気温が低下し，大気中の水分は霧となり，地下からの水分が地表面に漂い高湿度状態にもどる．日夜，乾燥・湿潤状態が繰り返されている．表面付近では拘束圧がほとんど 0 になることから，亀裂や空隙は開口する傾向が助成され，進展した亀裂や空隙の連結により表面から薄片状に剥離を繰り返す．特に，首の部分でこの現象が著しい．このような劣化現象がどのような速度で生じているのか？，正確な地下水位や岩盤内部の水分の変化は？，断層や亀裂の分布状態は？すぐ近くを流れる運河や住民の

写真-7 東方から望むスフィンクスとカフラー王ピラミッド

写真-8 南方から望むスフィンクスとクフ王ピラミッド

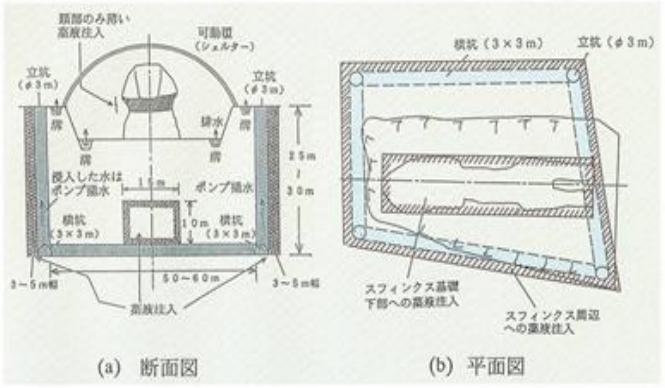


図-2 大スフィンクス修復・保存に対する私案(1992年5月，エジプト考古庁に提出)

生活廃水は？，等々現地調査やボーリングを実施しないと定量的な判断が下せない課題が残されている．

5. 大スフィンクスの修復・保存に向けて

大スフィンクスの劣化は，きわめて危機的状況にある．エジプト考古庁をはじめ関係者は早急に何らかの手立てを講じたいと考えている．ユネスコや諸外国から，スフィンクス本体の表面に直接薬液を注入したり，樹脂で被覆するとか，あるいは基底部をコンクリート版に置換する等の案が出されている．しかし，年代の若い石灰岩の特性から見れば，このような案が十分に適切であるかどうか疑わしい．処置を受けたスフィンクスは二度と元に戻らず，却って劣化を加速する結果が予想される．筆者は，考古庁長官(Dr.Bakr)に面談した際，スフィンクスの本体には何ら人工的な処置は行わず，石灰岩中の水分の変化を最小限にとどめることが肝要であると訴え，昨年 5 月，**図-2**に示す私案を提出した．

これは，周辺に 4 本の立坑を掘削し，地下 25～30m のレベルで横坑を設け，本体から離れた部分に薬液注入を行うことによって地下水を制御するような地中壁を造るものである．また，風蝕に対しては，秒速 20m を越える強風の場合はシェルターで覆うものとする．

学術調査は，京都大学(岩盤力学)および早稲田大学(考古学)関係者が幹事を務め，国内委員会を設置し，4 年間継続して行う．同時に，エジプト考古庁や国際的な専門家を中心とする国際委員会を組織し，毎年 1 回は調査結果を公表して，国際的なコンセンサスを積み重ねる．その上で 4 年後にはエジプト政府に対し適切な実施案を提出しようとするものである．国際委員会については，ISRM(国際岩の力学会)関係者の多くの賛同を得ており，調査費の目途が立てば即時発足できよう．費用は，現段階では総額 4 億 5 千万円を見積っているが，調査規模を縮小するとしても少なくとも上記額の 1/3 は必要である．

各位の理解と協力が得られ，国際貢献の一環としても，この学術調査が進展することを切に願うものである．

(1993.11.25 受付)

８．　敦煌の水

敦煌の水

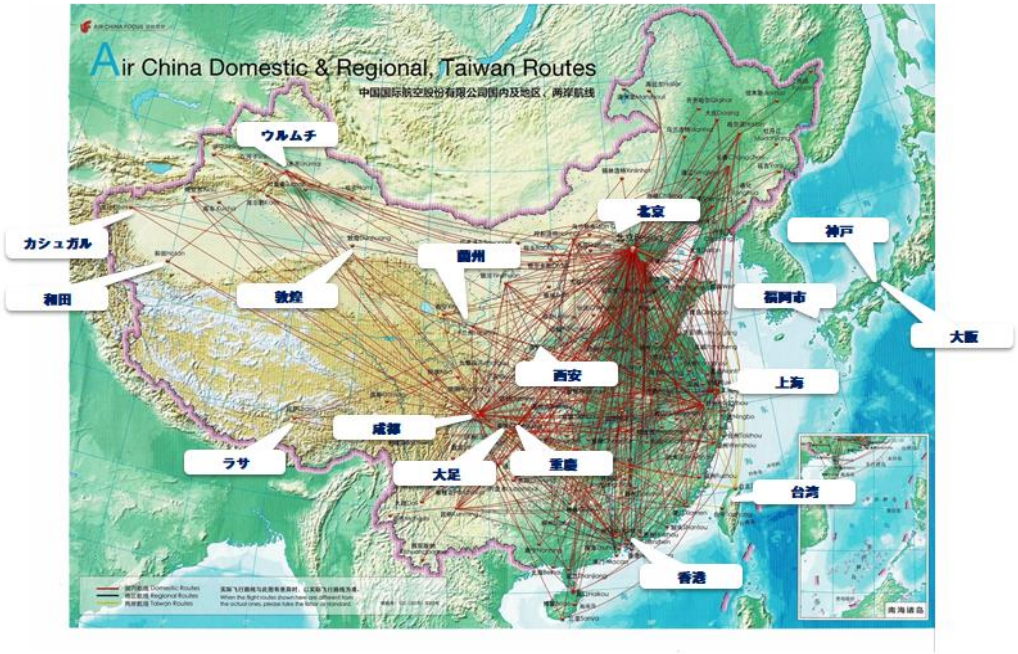
1. 敦煌：シルクロードのオアシス。大阪から3,000km。
2. 中国三大石窟：　敦煌・雲崗・竜門。

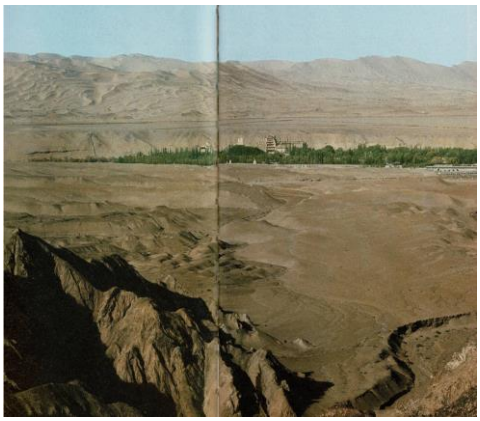
3. 敦煌莫高窟（4～13世紀）：492窟に塑像と壁画が残される。三蔵法師が立ち寄った。三危山・鳴沙山・大泉川・タクラマカン砂漠・ローラン・ハミ・トルファン・天山山脈・ウルムチ・崑崙山脈
4. 南へ4つの峠を越えればヒマラヤ。月牙泉・祁連山脈・ラサ・西蔵鉄道

5. 井上靖著「敦煌」
6. 敦煌の水：　①雨水、②河川水、③地下水、④灌漑水

7. 微気象・礫岩・湿度・塩害・カビ・微生物・地震・観光客
8. 西夏文書・仏典・漢字の成り立ち・異民族文化・交流拠点

中国地図



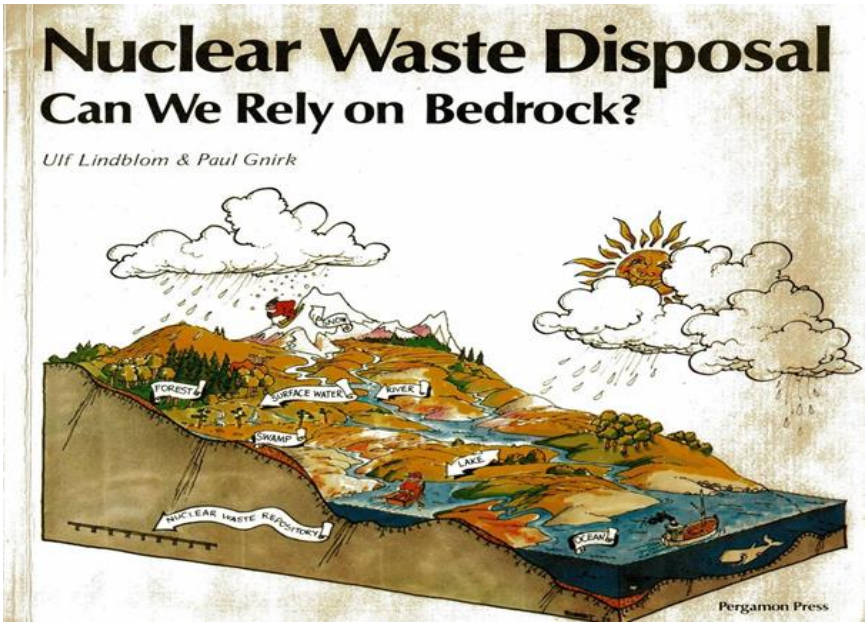


福岡市科学館未来研究室

９．　放射性廃棄物処理説明

スウェーデンでの小学生向け説明図書から

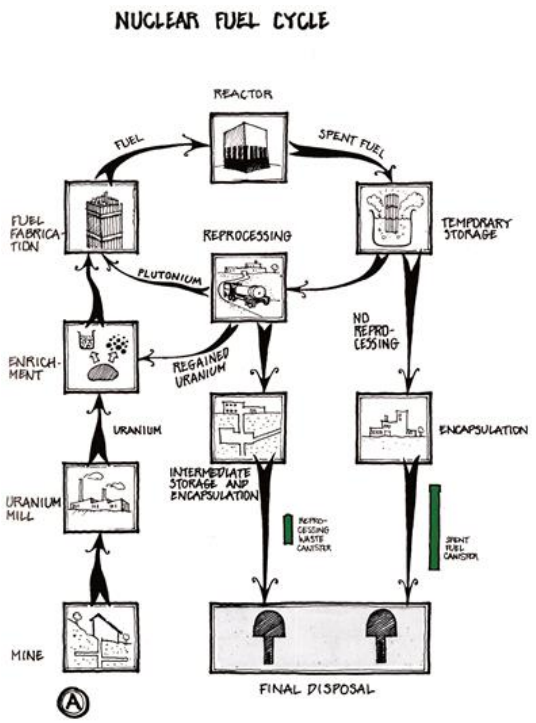
“Nuclear Waste Disposal:
Can We Rely on Bedrock?”
Ulf Lindblom & Paul Gnirk
Pergamon Press

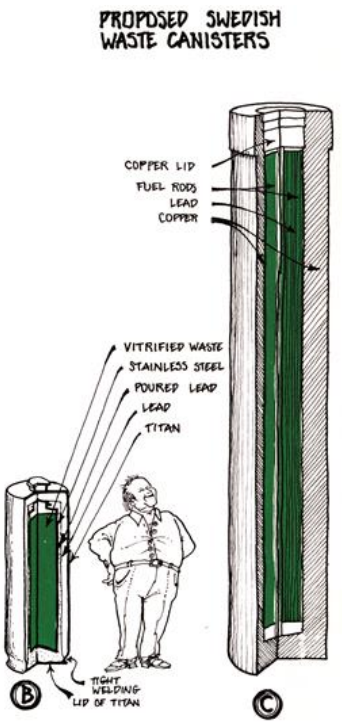


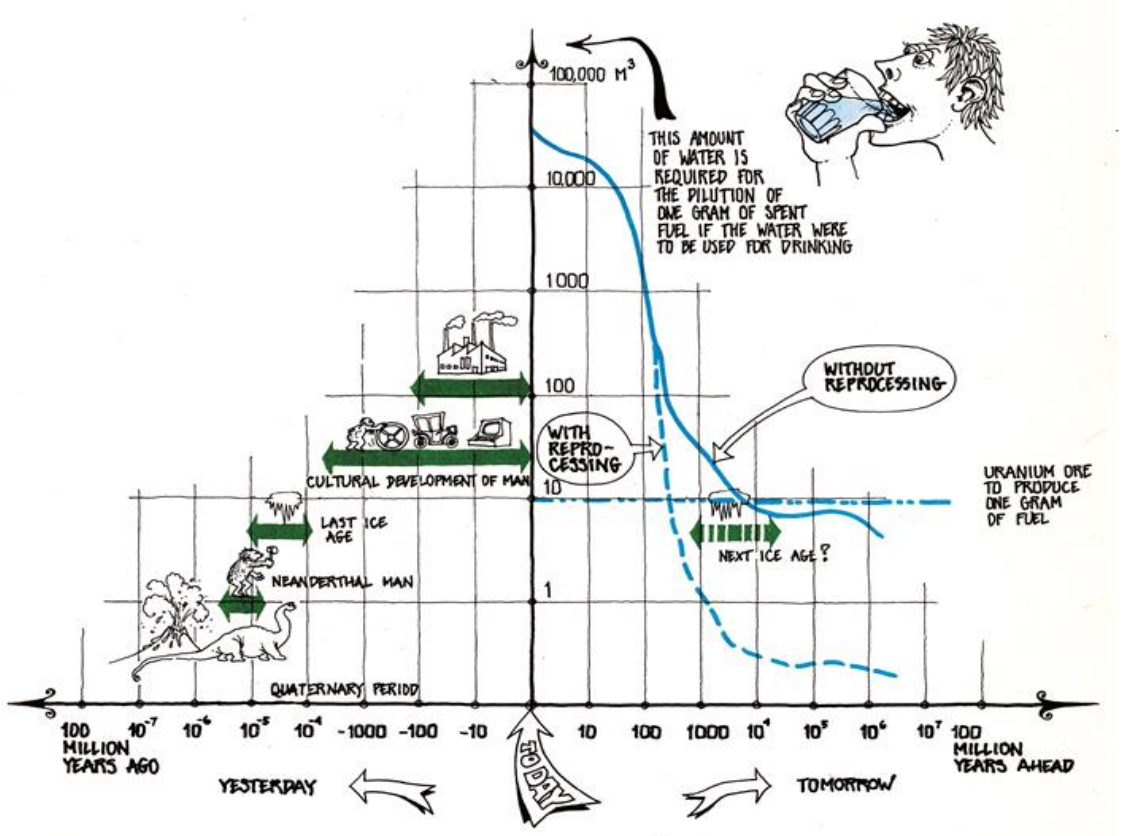
講師は、1982 年、カリフォルニア大学に滞在した時、スウェーデンからの放射性廃棄物処理の研究を行っている研究者と一緒だった。上の小中学生向けの図書を書き上げたばかりで贈呈された。まず、上図のように、水が蒸気となって山に降り注ぎ、斜面を下って川や湖となり、人間の生活圏を経て、海に至る。この過程で、地下水となって移動することも水循環として示されている。

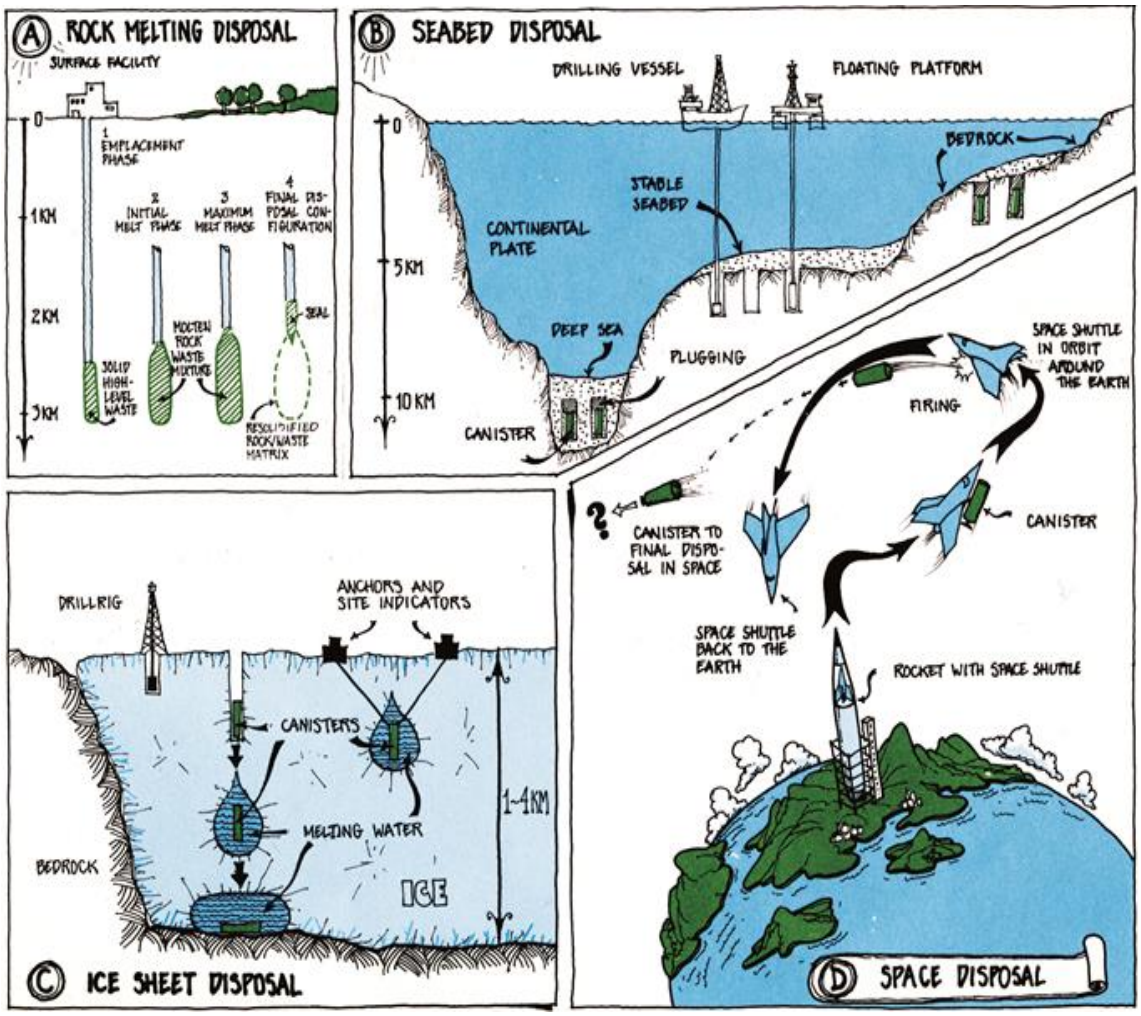
次ページの上図は、核燃料サイクルを示しているが、本文では放射能を帯びた燃えカス、核種が堅牢なキャニスターと呼ばれる容器に収められ、処分場に運ばれることを理解してもらえればよい。その下図が処分の基礎概念を示している。すなわち、発電の使用直後の燃えカス１ｇを安全なレベルまで希釈するとすれば、どれくらいの水が必要か、という処から出発する。直後では、ほぼ 3～5 万トンの水が必要である。われわれは、この量に対応はできない。そのまま半減期による軽減を期待すれば、何もしなければ、地下にある自然状態のウラニウム鉱石レベルまで下げるには、1 万年近くを要する。

そこで、200 年後あたりで再処理すれば、安全なレベルまで下げる時間は、300～400 年


NUCLEAR FUEL CYCLE
REACTOR
FUEL
SPENT FUEL
FUEL FABRICATION
REPROCESSING
TEMPORARY STORAGE
PLUTONIUM
NO REPROCESSING
ENRICHMENT
REGAINED URANIUM
URANIUM
ENCAPSULATION
INTERMEDIATE STORAGE AND ENCAPSULATION
URANIUM MILL
REPROCESSING WASTE CANISTER
SPENT FUEL CANISTER
MINE
FINAL DISPOSAL
A


PROPOSED SWEDISH WASTE CANISTERS
COPPER LID
FUEL RODS
LEAD
COPPER
VITRIFIED WASTE
STAINLESS STEEL
POURED LEAD
LEAD
TITAN
TIGHT WELDING
LID OF TITAN
B
C


100,000 M³
10,000
1000
100
10
1
THIS AMOUNT OF WATER IS REQUIRED FOR THE DILUTION OF ONE GRAM OF SPENT FUEL IF THE WATER WERE TO BE USED FOR DRINKING
WITHOUT REPROCESSING
WITH REPRO-CESSING
URANIUM ORE TO PRODUCE ONE GRAM OF FUEL
CULTURAL DEVELOPMENT OF MAN
LAST ICE AGE
NEXT ICE AGE?
NEANDERTHAL MAN
QUATERNARY PERIOD
100 MILLION YEARS AGO
10⁻⁷
10⁻⁶
10⁻⁵
10⁻⁴
-1000
-100
-10
10
100
1000
10⁴
10⁵
10⁶
10⁷
100 MILLION YEARS AHEAD
YESTERDAY
TODAY
TOMORROW



先、安全を見て 500 年先まで待てばいいことになる。此処で言う安全なレベルとは、燃えカス 1 g を希釈するのに 10 トンの水が必要な状態を指す。これでも多量に水になるが、現実的対応の可能な量である。適応されるすべての技術が、こういった条件に適合する限りは「放射性廃棄物の地層処分」が可能ではないかと問いかけるものである。

なお、上図は、処分に当たって想定された案を示す。まず、岩塩層について、塩の結晶は安定した堅固な空洞を形成できる。深い穴を穿って、その中で爆弾を破裂させれば、よく締まった球状の岩塩空洞が出来上がるので、そこに収める。次に、深い海溝の底にキャニスター容器を沈め、その上を覆う。この案は、海溝が動くこと、また海洋汚染を引き送すことで受け入れられない案となっている。

3 番目の案（左下の図）は、厚い氷の層（例えば南極大陸）に高熱状態の容器を置けば、その熱で周辺の氷が解け、自重で氷中に沈んでゆくであろう。容器の熱と周囲の温度が同じ状態となれば、そこに留まり、氷層が解けるまで閉じ込めることが可能であると考えるものである。南極をこのような目的で使用することは国際条約で禁じられている。

最後の案は、スペースシャトルに積み込んで、宇宙のかなたで放出する。未来永劫に戻

ってこない。しかし、打ち上げ時に失敗すれば、原子爆弾を投下するに等しく、このような案は到底認められない。結局、地層処分しか現実的に対応できる案は無いとして、主要国は、過去 50 年間、処分を可能とするための研究や技術開発を進めてきた。

しかしながら、具体的な処分地が決定しているのは、フィンランドだけでそれ以外にはないのが現状である。40～50 年前の原発稼働初期にはいずれ処分地が決まることを想定して進められてきたが、いまだに決まっていない。大きくて大変厳しい現実に直面している。311 大災害時の原発対応の実態を見れば、政府にも電力会社にも、一般市民を安心させられる説明は出来ていないことを物語っている。講師は、過去、40 数年にわたるトンネル・地盤災害事故を見守ってきたが、いずれも「何とかなるであろう」という根拠のない楽観論で処理された結果であった。災害論の柳田邦男氏は、この傾向を「日本病」と呼んでいる。この日本病は、至る所に発生しており、一般市民の「考え、判断する力」が問われていると講師は受け止めている。なぜ、そうなるのか、このなぜ何故を繰り返し問うことが学ぶ意味ではないか。スマホはこれを教えてくれるのであろうか。

１０．大学の機能（大学の研究教育を考える会まとめ）

大学の機能
―知の集積所―

- **知の伝達**
- **知の発信**
- **知の創造**

工学 (Technology)
「テクノロジーの3段階」

- Primitive Technology （萌芽的研究）:
  Experience-based Technology
- Advanced Technology （応用的研究）:
  Science-based Technology = Applied Science
- Complex Technology （複合的研究）:
  Means to achieve a given goal under a given condition
  （実践的）= Industrial Technology = “Engineering”

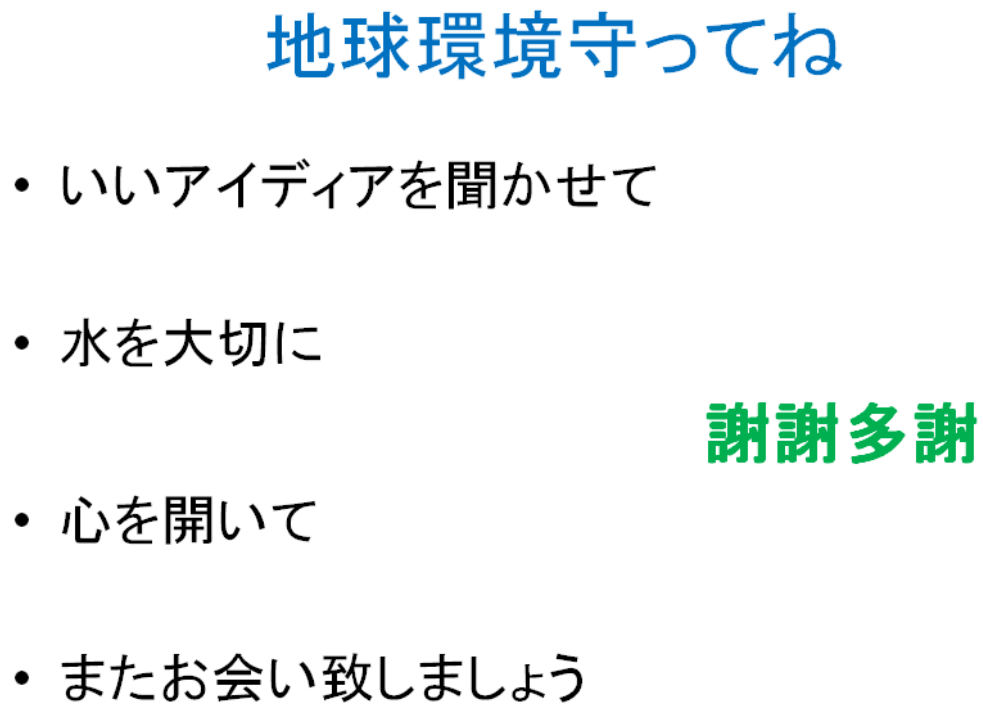
今から 30 年前、21 世紀に向けて、資源に恵まれない日本が活気あふれる国として、国際社会において知的なリーダーシップを果たしていくには、研究水準の一層の向上と高等教育機関としての、大学での教育面の充実が不可欠である。また、社会からの負託に積極的に応えなければならないとして、大学内・大学間の「大学改革」の機運が高まった。時を同じくして、あるいは両者は連動していたのであろうか、国立大学独立行政法人化が動き出し、2004 年度から施行されている。

この動きの中で、学術会議の中核をなす有識者が集って、「大学とは何か」なる議論が重

ねられ、その内容が、大学の研究教育を考える会編「産学連携とその将来」（丸善出版、1999年）として発表されている。20 年以上も前の事であるが、大学の普遍性から見れば、中身は引き継がれている。

講師は、中・高校の生徒諸君に「大学は何をする所か」と尋ねられた時、これに簡潔に答えるとすれば、『大学の中心（核）は「知」であり、「知を伝達する」のが教育であり、知の教育を受けた学生が社会人となって「知」を発揮することが「社会への知の発信」であり、そして、「知を創造する」のが研究である』と理解する。「知」とは情報ではない。それぞれの人間の頭の中で「考えられた結果、その人の固有の知財として蓄積されてゆくもの」である。

再度、問う。スマホでこれができますか。AI の力ですべてが叶うなら、あなたの頭は何のためにあるのですか。あなた固有の知恵が、あなたという存在を証明しているのです。



地球環境に関する参考図書

1. 「成長の限界」ローマクラブ・人類の危機レポート、D.H.Meadows 他 3 名著、1972 年 5 月、ダイヤモンド社
2. 「新しい世界像を求めて」ローマクラブ東京シンポジウム、科学技術と経済の会編、1974 年 3 月、ダイヤモンド社
3. アジェンダ 21 実施計画（97’）―アジェンダ 21 の一層の実施のための計画（1997 年国連環境開発特別総会採択文書)、環境庁・外務省監訳、1997 年 12 月、エネルギージャーナル社
4. ”How Green is your City? “ – The SustainLane US City Rankings, Warren Karlenzig, 2007, New Society Publishers, 2007
5. “1,001 Ways to Save the Earth” Joanna Yarrow, Chronicle Books, 2007
6. 大学で学ぶということ―21 世紀を生きる君たちへ、東京大学教養学部進学情報センター運営委員会編、2000 年 5 月、学会センター関西/学会出版センター
7. 産学連携とその将来、大学の研究教育を考える会編、1999 年、丸善（株）
8. 高圧線と電磁波公害、高圧線問題全国ネットワーク編、1997 年 7 月、緑風出版
9. 携帯電話は体に悪いのか？歯科からの電磁波対策、藤井佳朗著、2010 年 4 月、現代書林
10. 森林の思考・砂漠の思考、鈴木秀夫著、1978 年 3 月、日本放送協会 NHK ブックス 312
11. 都市人類の心のゆくえ―文化精神科学の視点から、野田正彰著、1986 年 2 月、NHK ブックス 495
12. 2050 年の世界地図―迫りくるニュー・ノースの時代、ローレンス・C・スミス著、2012 年 3 月、NHK 出版
13. 終わらない原発事故と「日本病」、柳田邦男著、2013 年 12 月、新潮社
14. エコロジー的思考のすすめ―思考の技術、立花隆著、1990 年 12 月、中公文庫 590
15. 人口から読む日本の歴史、鬼頭宏著、2000 年 5 月、講談社学術文庫 1430
16. 人類と気候の 10 万年史、中川毅著、2017 年 2 月、講談社ブルーバックス B-2004
17. 日本列島 100 万年史、山崎晴雄・久保純子著、2017 年 1 月、講談社ブルーバックス B-2000
18. 環境と文明の世界史―人類史 20 万年の興亡を環境史から学ぶ、石弘之・安田喜憲・湯浅赳男著、2001 年 5 月、洋泉社新書 030
19. 環境経済学への招待、植田和弘著、1998 年 4 月、丸善ライブラリー266
20. 地球環境報告、石弘之著、1988 年 8 月、岩波新書 33
21. 地球環境報告 II、石弘之著、1998 年 12 月、岩波新書 592
22. 21 世紀の地球環境―気候と生物圏の未来、高橋浩一郎・岡本和人著、1987 年 4 月、

NHK ブックス 525
23. 日本とは何か―近代日本文明の形成と発展、梅棹忠夫著、1986 年 5 月、NHK ブックス 500
24. エネルギー最前線、加納時男著、1984 年 10 月、NHK ブックス 466
25. エネルギーを考える改訂版、藤井清光・武安義光著、1982 年 2 月、NHK ブックス 410
26. 新・エネルギー論―タテ型思考からヨコ型思考へ、太田時男著、1979 年 5 月、NHK ブックス 343
27. いやでもわかる環境問題、日本経済新聞社編、1992 年 7 月、日本経済新聞社
28. 岩波講座・地球環境学 1 ・現代科学技術と地球環境学、高橋裕・加藤三郎編、1998 年 5 月、岩波書店