

「神々の指紋」の嘘と砂漠の水分

谷本親伯*

Counterargument against "Fingerprints of Gods" and moisture contents in arid area

1. 「スフィンクス1万2千年前建造」説 と著者の研究的背景

エコノミスト誌の東アフリカ通信員であったグラハム・ハンコックが、1995年イギリスより「神々の指紋」(Fingerprints of the Gods)なるペーパーバックを出版し¹⁾、多数の国で翻訳もされ、注目を浴びた。我国でも邦訳が出版され²⁾、小生がスフィンクスの調査に関係していることを知った人は、スフィンクスが造られたのは12,000年前ですか、とよく尋ねられる。原著は、52章から成り、本文に534頁、参考文献に50頁を費やす労作である。前半に世界各地の古代遺跡にまつわる神話伝説を説明し、後半にエジプトの古代遺跡を視察して得た知見を基に、一般に言われている5,000年の歴史よりはるか昔に、優れた文明が存在していた可能性を強く示唆している。ギザに残された大ピラミッドやスフィンクスは、12,000年前に建造されたと言い切っている。その根拠は、地質学的な所見から降雨による岩盤の風化が明瞭に認められ、降雨は5,000年以上前の出来事であり、従って建造の時期は、5,000年前よりもっと以前でなければならない。専門家の所見として、ジョン・ウェスト(John A. West)とロバート・ショック(Robert Shock)の意見を全面的に取り挙げている。ボストン大学の地質学教授であるショックは、

1992年のアメリカ地質学総会や先端科学協会年次総会で「スフィンクスの身体と周りを取り囲む壁には風雨によって浸食された深い溝がある。この外観は典型的な教科書の事例とも言える雨による浸食」と断定した。スフィンクスは氷河期の終了する前、紀元前10,000年より古い昔に造られたものというのがハンコックの説である。これが、「神々の指紋」を世界に売り込んだセールスポイントである。

著者は、1995年1月から、ギザのスフィンクス地点で、遺跡保存のための学術調査として、地質や水文と岩盤の風化に関する調査を開始した。世界遺産でもあり、エジプトの所有する第一級の古代遺跡の周辺の調査は厳しい制限条件の下で実施されねばならず、考古庁との事前協議から実施にこぎつけるまで大変な労力と時間を強いられる。どのような調査であるかの内容に触れるまでに、ただスフィンクス地点で何かを行うということに対して、エジプトのみならず、他国の考古の関係者から学術的でない横槍が入ることも覚悟しておかねばならない。いずれにせよ、ギザ地区にて、発掘とは無関係に遺跡保存のための学術調査を行ったのは、我隊が最初であると自負している。

さて、何故このような調査を行ったのか、その理由に触れておきたい。著者は、1995年より、国際岩の力学学会(International Society for Rock Mechanics: ISRM)に設けられた石造遺跡保存国際委員会の委員長を務めている。世界の代表的な遺跡に何が起きているかを岩盤力学という専門知識から調査するものである。メンバーのすべてがボランティアとして調査を行っており、調査の費用や時間の関係から著しい進展は期待できないものの、アンコールワット(カンボジア)、敦煌(中国)、メサベルデ(米国)、クスコ(ペルー)、モアイ(チリ)、スフィンクス・ピラミッド(エジプト)等に関するデータが集積しつつある。貴重な人類の遺産を専門的見地から

*Chikaosa TANIMOTO

1943年12月15日生
1970年京都大学大学院工学研究科資源工学専攻修士課程修了
京都大学工学部土木工学科助教授を経て、現在、大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻、教授、工学博士、岩盤力学、トンネル工学、リモートセンシング
TEL 06-6879-7622
FAX 06-6879-7617
E-Mail tanimoto@ga.eng.
osaka-u.ac.jp



保存する援助を行う、これだけでも十分意義のあることではあるが、歴史的背景と現在に至るまでの経緯が詳細に記録されていることから、地球規模で変化してきた環境を知る上でも、すばらしい超長期的な記録計の役目も果している。世界的に散らばった遺跡地点での考察から気候変化が読みとれるであろう。文明や集落、都市、農耕、産業等の興亡と自然環境の関わりが判明してくる。著者の現職は、1998年より新設された地球総合工学専攻の教授であり、従来行ってきた岩盤力学を基礎とするトンネル・ダム・橋梁基礎・斜面などを対象とした応用分野だけでなく、地形・地質・水文条件を中心とした自然環境と人類の営みとの関係、エコ都市の構築や持続的発展を可能とする条件などの追求が求められている。

著者にとって、古代遺跡地点からの諸知見は、岩盤物性と亀裂の成因・挙動、岩石風化、地下の水文(水理)等の理解において、きわめて貴重な情報である。日常生活に関連するトンネルや斜面での不安定(崩落)現象の理解にも大いに役立ち³⁾⁴⁾、また、日本では40%以上の依存率を示す原子力発電により発生する放射性廃棄物の地層処分にもこれらの情報が活用されるのである。

ここで、本論に戻る。著者は、上記のハンコック説にはほぼ100%反対の立場をとる。その主たる理由は、スフィンクス・ピット(スフィンクス周辺の掘り下げられた溝)の壁面に認められる浸食の痕跡は、激しい降雨によらなくても発生すると考えているからである。激しい降雨がハンコック説を支える唯一の条件であり、これが否定されれば、ハンコックの主張はすべて根底からくつがえされる。スフィンクスピット壁面をつぶさに観察する機会が与えられるのは、全世界で一握りの人間である。ほとんどの人は、何の確認の手段も持たず、ただ、ハンコックの文章を読み、これを信じざるを得ない立場であり、ハンコックとその周辺の人々は、これを実に巧みに利用して「1万2千年前説」を宣伝している。多くの科学者も彼の説を支持していると補足されているが、何の証拠も存在しない。当然のこととして、著者らが発表した科学的データについても、これが科学的事実と認められなければ、ハンコックと同じ立場であることを自覚している。

40数年前、ディズニー製作の「砂漠は生きている」(Secrets of Life)が上映され、乾燥して何もな

い砂漠(アリゾナ)にもわずかな水分に依存する多様な動・植物が生息していることが紹介されていた。人間にとっても水分が必要な場合は、地面を掘って穴を設け、表面をビニールで覆っておけば、地中から蒸発する水分を捕え、飲料に使えることが記憶に残っている。砂漠地帯といえども、わずかの水分は存在する。これがハンコック説に対抗する著者の根拠である。

エジプトは、ナイルのデルタ地域を除けば、ほぼ全域乾燥地帯であり、東はアラビア砂漠、西にはリビア砂漠が広がり、サハラ砂漠に至る砂漠地帯である。これを、人工衛星からの映像を通して眺めると、幾条かの明瞭なリニアメントが認められる。地殻変動の影響を強く受けた断層であり、何千年もの間、存続してきたシーワ、バハリア、フェラフラ、ダクラ、カルガといったオアシスはすべて、異なる断層の交差する点に存在することが判る。これに加えて、かんがいや飲料のための水を確保するために掘られた井戸やボーリング調査の結果から、エジプトの地下数十米から数百米の位置に、ヌビア砂岩層が存在し、これが滞水層になっていることが判明している。水平に広がる滞水層であり、断層が鉛直方向の滞水帯であるとみなせば、降雨がなくともオアシスが何千年もにわたって存続してきた理由が理解できる。さらに水理調査結果を整理すれば、地下水の移動速度は1日あたり3~5mと推定され、1年に1~1.5kmの速さであることが判る。2,000~3,000km南方のスーダン、エチオピア等で降雨があることを考えれば、エジプトのオアシスで飲む水は、2,000~3,000年前に、はるか南に降った雨が地下に浸透し、これが移動してきたものと考えられる。また、ナイル川の底から地下に浸透する水にも可能性があるが、この点のデータは得られていない。

そして、地下水が存在すれば、地盤を構成する地層に含まれる断層や亀裂、あるいは地層自体の小さな間隙を「水みち」として、わずかずつではあるが地表面や崖面などの自由面に向かって、移動していると考えられる。スフィンクスのピットに入り、スフィンクス本体や壁面を観察すると、浸透水が運んできた鉄分が沈着し、その動きを示すストライプが明瞭に認められる。地盤を彫刻して造られたスフィンクスと石材を積み上げたピラミッドは、材料的には異なる。すなわち、両者とも、巨視的には、5,000~6,000万年前に海底に堆積した石灰質堆積物から成

る地層が隆起し、これが陸地となった石灰岩を利用しているが、材質・強度・風化に対する耐久性の面から見ると違っている。砂質系、泥質系の石灰岩に大別されるが、いずれも木片や硬質の石片、あるいは青銅製ののみなどで、加工することが出来るほどやわらかい。細かく見ると、微細な孔や割れ目がある。岩盤や岩という表現を使うと、何も通さない緻密な物質と思われがちであるが、そうではなく、程度の差はあっても水を通すことには変わりはない。著者は調査隊を組織し、3度にわたってスフィンクス周辺の調査を行った。地下水が岩盤の実質部や割れ目を介して移動し、地表面から蒸発・発散する挙動を調べるのが目的であった。その結果は、地盤工学会誌(1997)に報告している⁵⁾。1日の気象変動により、主に温度差であるが、スフィンクスや壁面を構成する岩盤の表面からは蒸発・発散が繰り返され、夜間には、空気中の水分が岩盤表面に結露し、有意な水収支があることが確認された。特に、スフィンクスの腰部を切断する断層については、他に比べ、多量の水分が地下から移動し続けていることが判明している。

さらに、少し専門分野に入るが、地質時代の若い地層は、100%固まりきらず、微細な間隙を内蔵している。この間隙を伝って、水分が移動し、湿潤状態と乾燥状態が繰り返し発生すると、空隙周辺から脆弱化が進行し、スレーキングと呼ばれる一種の風化現象が促進される。わずかつづではあるが、毎日これが進行している。スフィンクスの首の裏側に数十センチ径の穴があり、ここに水が放置され、その影響がスフィンクス正面の胸部に現れ、著者の観察では年間3~5mmの速度で表面が浸食されていた。これを指摘した時は、ほとんど誰もが信用せず、逆に批判を浴びたが、過去100年以上にわたって撮影された正面からの写真を見直した処、少なくとも30cm以上胸部が後退していると判断され、著者の指摘が誤りでないことが認められた。首の裏側の穴に何故、水が存在していたのか疑問が残っているが、水の存在が石灰岩の風化に著しく影響することの一例である。降雨がなくとも日々の風化の進展がピットの壁面に現れているというのが著者の見方である。したがって、「激しい降雨」説を根拠として、建造時期を1万2千年前と主張するのは早計であり、「神々の指紋」の内容を余りに強く科学的根拠に基づくとするのは、世間をまどわせる嘘といわざるを

得ない。しかしながら、多くの人が信じきってしまった今となつては、著者の方が間違いと言われるかもしれないが、ボストン大学のショック教授と学術論争をかわす必要を痛感している。

著者は、スフィンクス地点にて、岩盤表面での水収支を、温度・湿度・風速を直接計測する方法、熱赤外線映像法による表面温度測定、および地中の湿潤状態を探る電気探査(比抵抗法)により観測した。また、今春から始めた調査の対象である中国のオアシスに存在する敦煌の莫高窟や榆林窟などの貴重な遺跡の置かれている環境もスフィンクス地点での知見と大いに一致していることを付記したい。この方の結果も速やかに報告できるよう願っている。

2. 岩盤表面での水収支

大スフィンクスの風化・劣化の主たる原因として、塩類風化、化学的風化、スレーキング、強い日射、強風などが挙げられる。最後の風食を除き、これらの風化現象では岩盤の内外を移動する水分が重要な役割を果たしている。そのため、風化現象を解明するには岩盤表面での水分移動量の日変化および年変化を調査することが必要となった。

従来、蒸発もしくは蒸発散量の評価は広域水収支の把握を目的として行われることが一般的であり、今回我々が目的としたスフィンクスピット内での局地的条件を考慮した微量の水収支の計測については例がない。スフィンクス周辺での水収支調査にあたり、いくつかの方法を検討した。結局、岩盤表面に閉じた空間を設けることもできず、現状のまま、有風状態を前提とした。そして、岩盤表面のごく近傍(表面上の1点及び1cm離れたもう1点)に温度・湿度・風速センサーを設置し、蒸発量を連続的に測定することによって、水分移動の時間的变化ならびに岩質・亀裂の程度と水分移動の関係を定量的に把握することにした。岩盤表面上、1cmというわずかの距離の差に発生する水分移動量から、その近傍の水収支を測定しようとする困難さを承知の上で実施した。

まず、この方法の測定原理について述べる。

岩盤表面の直上において大気中の水分密度、すなわち絶対湿度(g/m^3)鉛直方向分布は、図1に示すような分布になる。この高さ方向の絶対湿度の差によって水分移動が起きる。表面のごく近傍では風速の影響は小さく、図1の下部に見られるような直線分布となる。この領域は層流層であり、水分移動は

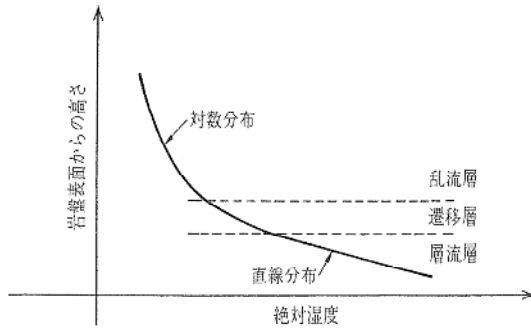


図1 絶対湿度の鉛直分布

主に分子拡散によって行われる。したがって層流層内において岩盤表面からの高さの異なる2点で絶対湿度を測定すれば、次式によって蒸発量 E が算出できる。

$$E = -D_m \frac{Q_1 - Q_2}{n_1 - n_2} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 D_m は分子拡散係数、 n は岩盤表面からの高さ、 Q は高さ n で計測される絶対湿度である。

一方、表面からある程度離れると、風速の影響が無視できなくなり、乱流の影響を受けることになる。乱流層内では図1の上部に示されるように絶対湿度は対数則に従い、水分移動は乱流拡散によって行われる。よって、乱流層内では高さの異なる2点での絶対湿度と、高さが既知である点での風速を計測すれば、次式によって蒸発量 E が算出できる。

$$E = -K \frac{Q_1 - Q_2}{n_1 - n_2} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 K は風速と地表面粗度に依存する乱流拡散係数である。

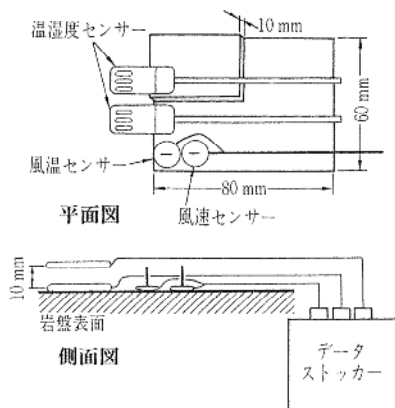


図2 センサーユニット設置図

スフィンクス地点での計測については、図2に示すようなセンサーユニットを用いた。このセンサーユニットによって岩盤表面から高さ3mm、13mmでの絶対湿度と、高さ10mmでの風速が計測される。ここで問題となるのは、高さ3mm、13mmでの計測点それぞれが層流層に含まれるのか、乱流層なのか、あるいは層流層と乱流層両者にまたがるのかという点である。本来ならば各計測地点において絶対湿度の鉛直分布を調べ、層流層か乱流層かを確かめる必要があるが、過去2回の現地測定ではこれを実施することができなかったため、2点が層流層に含まれる場合と、乱流層に含まれる場合の両者について蒸発量の算出を行った。

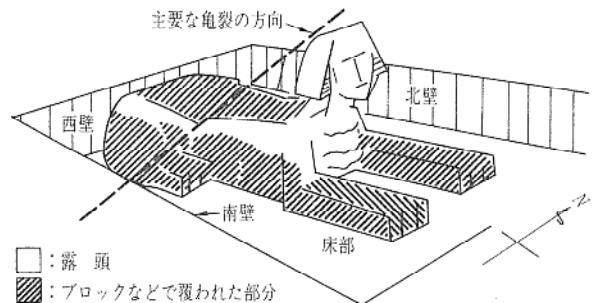


図3 スフィンクスピットと主要な亀裂の方向

さて、スフィンクス地点での測定に移ろう。スフィンクスピットの概略図を図3に示す。スフィンクスは朝日を凝視する形で東を向いている。腰部に、ほぼ南北に主要な亀裂が横断していて、これに沿って著しい風化が認められる。図4に観測地点の位置を示す。観測地点はスフィンクスピットの壁(南壁・西壁・北壁)および床部分の岩盤である。スフィンクス本体については頭・首・胸部を除くほとんどの部分が石灰岩ブロックで覆われているため観測でき

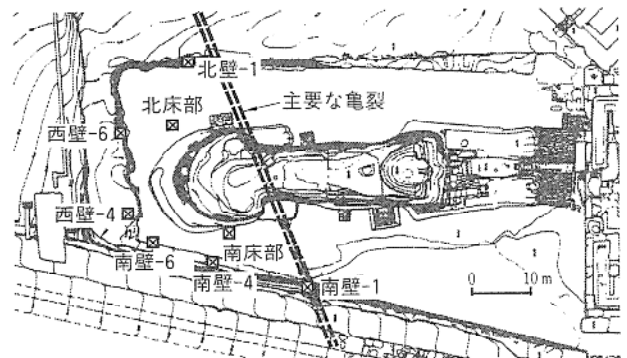


図4 水収支計測地点位置

ないが、本体を形成する石灰岩層と壁および床部分の石灰岩層は連続しており、壁および床部での計測によって、スフィンクス本体の岩盤における水分移動は推定できる。

得られたデータの解析にあたっては、バルク法⁶⁾を採用した。前出の式(1, 2)における K の値は風速が変化する場合一定ではない。バルク法では水分移動量 E は次式によって示される。

$$E = \frac{\kappa^2}{\left(\ln \frac{z}{z_0}\right)^2} (Q_s - Q_z) U_z \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 κ はカルマン係数、 z は岩盤表面からの高さ、 z_0 は地表面粗度、 Q_s は岩盤表面における絶対湿度、 Q_z は岩盤表面から z の高さでの絶対湿度、 U_z は岩盤表面から z の高さでの風速である。本解析では、 $\kappa=0.4$ 、 $z_0=0.0003\text{m}$ (砂・砂漠での一般的な値)と仮定し、 Q_s 、 Q_z および U_z は観測値である。

なお、層流層の厚さを求める検討も行っているが、その厚さは0.02cmという値が得られた。本調査の解析においては、対数則に従う乱流層のみを想定しても十分目的を達成できると考えた。

スフィンクスピット内岩盤での水分移動の典型的な日変化を図5に示す。これらの図において正值は岩盤表面から大気に向かって水分が移動することを示し、負値は大気から岩盤表面に向かって水分が移動し

ていることを示す。岩盤表面と大気との間で水は基本的に次のように移動していると考えられる。日中の岩盤表面は日射を受けて気温よりも高温になる。そのため岩盤表面から大気へと水分が移動する。水分移動が正の向きに最大になるのは13:00~15:00の間である。日没が近づくと温度降下が始まり、大気と岩盤表面との温度差が小さくなり、岩盤表面は大気から受け取る赤外放射よりも大きな赤外放射を放ち、冷却が進む。そのため気温よりも岩盤表面温度の方が低くなって、19:00~22:00に大気から岩盤表面に向って水分が移動するようになる。さらに冷却が進むと大気中の水蒸気が飽和し、凝結(結露)が起こる。凝結した水分は岩盤表面から岩盤内へと浸透する。

表1 1日での岩盤・大気間水分移動量

計測地点	岩盤から大気 U [g/m ²]	大気から岩盤 D [g/m ²]	取 支 $U-D$ [g/m ²]
南壁-1(図-11.12*)	140.0	1.25	138.6
南壁-4(図-11.11(a)*)	101.1	98.7	2.44
南壁-6	129.6	34.2	95.0
西壁-4(図-11.11(b)*)	48.9	46.1	2.81
西壁-6	64.8	25.6	38.7
北壁-1	57.3	9.21	48.1
南床部	143.3	67.1	76.2
北床部(図-11.11(c)*)	67.3	80.8	-13.7

(*: 対応する説明図)

表1に1日の中で岩盤と大気との間を移動する水分量を示す。図5(a),(b),(c)に示した地点(すなわち(a)南壁-4、(b)西壁-4、(c)北床部)では、正值の領域の面積(日中岩盤表面から大気へと移動する水分量の総和)と、負値の領域の面積(夜間大気から岩盤表面へと移動する水分量)はほぼ等しい。このような地点では、夜間大気から岩盤に供給される水分がそのまま日中岩盤表面から大気へと移動しており、図5(d)に示すような局所的な水の循環が存在すると考える。このような水の循環が存在するのは、ギザ地区は夏期の降水量が非常に少なく(カイロの年間降水量は21.8mm)、かつ植生がないので夜間の蒸発による大気への水の移動がないためである。

各測定地点を比較し、水分の移動の程度を日中の最大蒸発速度(単位時間に蒸発する水分の最大量)に着目すると、スフィンクスピット内南側では10~13 mg/m²・s、西側では8mg/m²・s、北側では4~5mg/m²・s程度であり、南側では特に水分移動が著しい

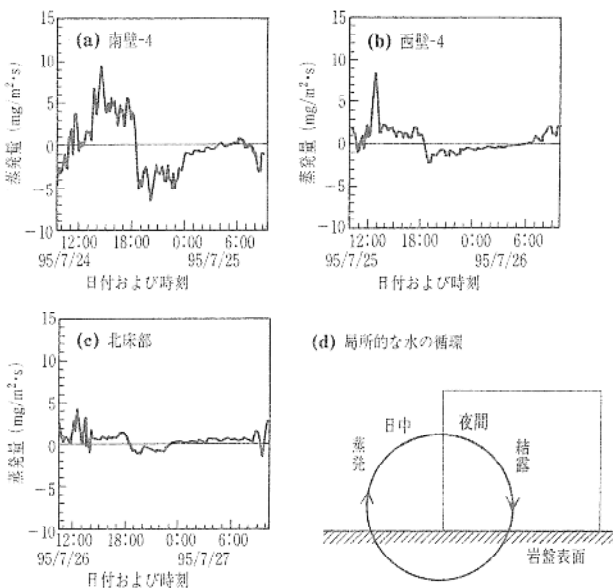


図5 スフィンクスピット内での蒸発量計測結果 (岩盤と大気との間に水の循環が見られる場合)

ことが分かる。これは、スフィンクスピット内南側では障害物が少なく、日射や風を遮るものが少ないためであると考ええる。

一方、図6は、スフィンクスピットを南北に横断する大きな亀裂の南壁部分での結果を示す。この図では、日中～夜間に亀裂を通じ正の水分移動が起こっており、その水分移動量は最大 $7.6\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ である。前回の冬期の調査でも、この亀裂の北壁部分において1日中正の水分移動が観測された。その水分移動量は最大 $2.5\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ であった。図6に示した水分移動量の平均値は $1.6\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ であり、この亀裂では岩盤と大気との間の局所的な水の循環に加えて、1日を通して $1.6\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ の地下からの水の供給があることが推定される。

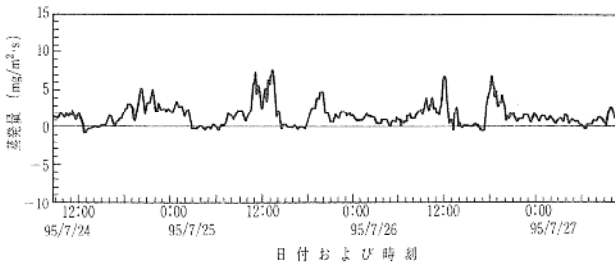


図6 蒸発量の日変化(南壁-1, 主要亀裂部分)
(亀裂を介し、地下からの水の供給が支配的な場合)

3. そして、これから

ひじょうに乾燥していると思える場所であっても、水分が存在し、季節的にも日的にも変化していることが判ってきた。砂漠化防止の課題として、水を供給すれば緑化が果せると早合点する人が多い。エジプトをはじめ中近東一帯の地表は、海成の石灰岩を基盤とするため、塩分を多量に含んでいる。水を供

給すれば、水の移動と乾燥により塩分が濃縮され、何十年か後には塩害で永久に植生を期待できない状態になる。すでになっている所が多い。スエズ運河の下に掘られたトンネルも排水し続けるとコンクリート覆工の背面に塩分が集積され、10～20年後にその膨張圧で壊されてくる。一度、経験しながら、また同じことが繰返されている。スフィンクスの風化を防止するため、ビニールや樹脂でもって全表面を包んでしまおうという案も出ている。まさにスフィンクスの息の根を止める愚挙といたいだが、「神々の指紋」が科学的と考える人が多くなればなるほどいつの日かこれが通ってしまうかもしれない。古代遺跡の保存は後戻りできない。失敗に気が付いた時はすでに遅いのである。地球環境も然り。響きのいい、レベルの低い民主主義的判断の脅威が眼前にある。

参考文献

- 1) Graham Hancock (1995) : Fingerprints of the Gods ("Sphinx" in Ch. 47) Mandarin Paperback, 607pp.
- 2) グラハム・ハンコック著・大地舜訳、「神々の指紋」(上・下), 翔泳社, 1996.
- 3) 谷本親伯, 「崩落災害回避は官民協力」朝日新聞論壇, 1996年3月11日
- 4) 谷本親伯, 「トンネル崩落予見可能」読売新聞論点, 1998年8月18日
- 5) 谷本親伯, 石造文化財の保存11. 大スフィンクス修復保存学術調査, 地盤工学会誌第45巻第6号(1997)p.49-54および第7号(1997)p.47-52
- 6) 武田喬男ら, 気象の教室3・水の気象学, 東京大学出版会, p.142, 1992.

