

京都大学工学部 正会員 谷本親伯 岸田潔

京都大学工学部 学生員 ○中島伸一郎

1. はじめに

エジプトギザ地区の大スフィンクスは、約4600年前始新世のマーディ層と呼ばれる石灰岩を彫り込んでつくられた。現在、掘り起こされてむき出しの状態にあるスフィンクスは、著しい風化を受けており、修復・保存方法の確立が必要となっている¹⁾。風化の主たる原因としては、風蝕、スレーキング、塩類風化、化学的風化などが挙げられているが²⁾、特徴的なのはギザ地区が砂漠気候に属するにも関わらず、水の移動によってもたらされる風化現象が重要な原因となっている点である。そこで本研究では夏期の大スフィンクス周辺の岩盤表面付近での水分蒸発量を計測し、周辺の気象・地質条件を考慮に入れて岩盤内外を移動する水分に関する考察を行った。

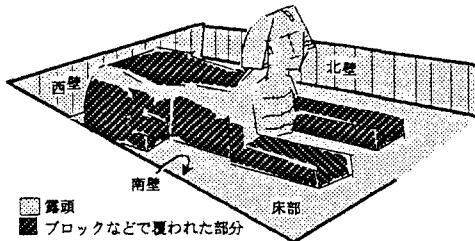


図-1 スフィンクスピット（南東方向から見た図）

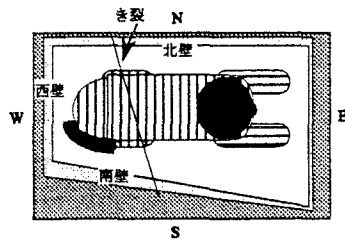


図-2 スフィンクスピット（上から見た図）

2. 計測方法

計測は、スフィンクスピット内の壁（南壁・西壁・北壁）および床部分の岩盤に対して行った。スフィンクス本体に対しては計測を行わなかったが、本体を形成する石灰岩層と壁および床部の石灰岩層は連続しており、同様の風化を受けていると考える。計測には温湿度センサ2つ（神栄株式会社製THP-23）風速センサ（同UNIT-QB5）1つを1セットとして用いた。センサユニットの概略図を図-3に示す。計測方法は、センサユニットを岩盤表面に貼り付け、岩盤表面と岩盤表面から1cm離れた地点での温度・相対湿度の計測を行う。同時に岩盤表面から1cm離れた地点での風速を計測する。計測は10分間隔で連続24時間以上行い、データはデータストッカー（同IRHDM3）に記録される。

3. 蒸発量の算出方法

蒸発量の算出にはバルク法を用いた。バルク法では蒸発量Eは次の式によって表される。

$$E = \frac{\kappa^2}{(\ln z/z_0)^2} (Q_s - Q_z) U_z \quad (3.1)$$

上式においてκはカルマン係数、zは岩盤表面からの高さ、z₀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。本研究ではカルマン係

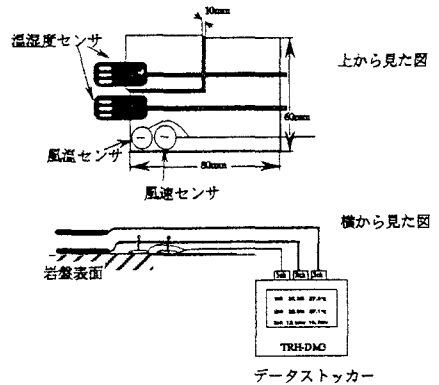


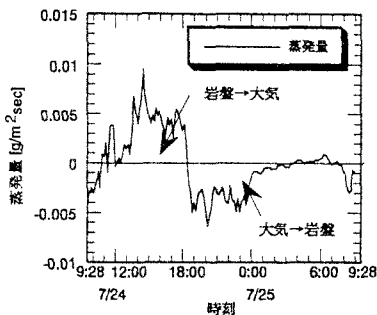
図-3 センサユニット概略図

数 κ として $\kappa=0.4$ 、地表面粗度 z_0 として砂・砂漠での一般的な値である $z_0=0.0003\text{m}$ を用いた。 Q_s 、 Q_a および U_a は観測によって得られる。

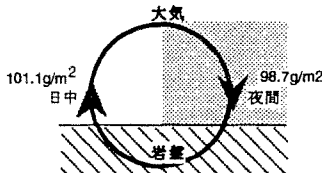
3.算出結果

スフィンクスピット内岩盤での蒸発量の典型的な日変化を図-4 (a)に示す。図-4 (a)は、スフィンクスピット内の南壁で計測したものである。正の蒸発量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、負の蒸発量は大気から岩盤表面に向かって水分が移動することを示す。蒸発量は基本的に次のような変化をしている。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蒸発が起こる。蒸発量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下降が始まり、大気と岩盤表面との温度差が小さくなり正の蒸発量が少なくなる。日没後日射がなくなり、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かって水分が移動するようになる（負の蒸発）。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地中へと浸透する。

また図-4 (a)において、正の領域の面積（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の総和）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-4 (b)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、ギザ地区が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散による大気への水の移動がないためである。表-1に各測定地点における、正の蒸発量の総和と負の蒸発量の総和および各測定地点での平均風速を示す。この表を見てわかるとおり、スフィンクスピット内南側では西側あるいは北側に比べて、水分の移動量が正の向きには 50g/m^2 程度、負の向きには $50\sim 80\text{g/m}^2$ 程度多い。これはスフィンクスピット内南側は障害物が少なく、日射や風を遮るものが少ないためであると考えられる。



(a) 蒸発量の日変化（南壁）



(b) 局所的な水の循環（1日サイクル）

図-4 岩盤表面と大気の間を移動する水分量

表-1 1日若岩盤と大気の間を移動する水分量 $[\text{g/m}^2]$

および各測定地点の平均風速 $[\text{m/sec}]$			
	岩盤→大気	大気→岩盤	平均風速
南壁	101.1 $[\text{g/m}^2]$	98.7 $[\text{g/m}^2]$	0.701 $[\text{m/sec}]$
西壁	48.9	46.1	0.210
北壁	57.3	9.21	0.248
床部南	143.3	67.1	0.651
床部北	67.3	80.8	0.245

4.おわりに

本研究では、大スフィンクス周辺岩盤における夏期の水分蒸発量の計測を行うことによって、岩盤内外を移動する水分量について考察を行った。その結果、岩盤と大気の間で局所的な水の循環が存在することが分かった。また、大気の変動がより激しいスフィンクスピット内南側では水分の移動が大きいことが分かった。今後はまず蒸発量の計測方法の改良を行う。そして、データを蓄積し、スフィンクス周辺での蒸発量の分布を調査する。

参考文献 1) 谷本親伯：古代エジプト遺跡の劣化と風化，材料，第39巻 第446号，談話室，1990。

2) 谷本親伯：京都大学公開講座テキストNo.13，pp.7，1993。