

## お城で宇宙線を測る

投稿

湊 進  
Minato Susumu

## 1. はじめに

近年、宇宙線による火山の透視や大型構造物の内部探査が盛んになりつつある。この技術でクフ王のピラミッドに未知の大空間が発見されたことは耳新しいところである<sup>1)</sup>。地盤の空洞探査や原子炉の内部構造調査等の物理探査への適用性についての解説も出ている<sup>2)</sup>。

これらの技術は原子核乾板や大型の位置検出器、あるいは宇宙線望遠鏡等の装置でミュオン粒子（宇宙線の硬成分）を測定するものである。測定時間は数週間から数か月を要するが、きめ細かい方向分布が得られる。一方、シンチレーション・スペクトロメータで3 MeV以上にディスクリミネーション・レベルを設定することにより、短時間で容易に電子・光子（軟成分）も含む宇宙線強度を測定できる方法がある<sup>3)</sup>。10～20分程度の測定で済むが、測定できるのはその場に全方向から飛来した宇宙線強度のみである。しかし、測定器を携帯型にできるし、軟成分も含めて測定するため規模の小さい構造物も測定対象にできる。例えば一般家屋やビル、橋の下、遺跡等でも気軽に測定できるので、大学生の卒業研究等の教育目的にも適している。

ここでは天守閣（以下、天守）での測定に絞って話を進める。天守を選んだ理由は、お城を管理する市役所の担当課に問い合わせれば天守の寸法等の情報を容易に入手できるからである。

## 2. 基礎データと解析モデル

全国にあるお城の管理担当課に問い合わせて60の天守の延床面積、高さ、及び各階の寸法のデータを得た。天守の規模は延床面積で表すのが一般的である。延床面積とは各階の床面積の総和であり、天

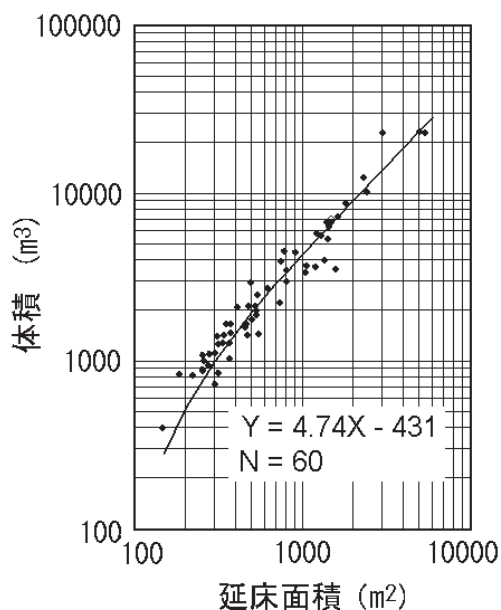


図1 天守の石垣天端から上の階の延床面積と体積の関係

守の体積とはほぼ直線性のある関係がある。図1が両者の関係である。図2は延床面積と高さの関係である。データはかなりバラつくが、延床面積が大きい天守は高さも高いという関係が見てとれる。

この稿の後半で線量率データを解析するが、そのための簡単な円錐台モデルを図3に示しておく。天守の1階の床の面積と等しい円と、最上階の天井の面積と等しい円で円錐台を表現するのである。

図2に示されている経験式の妥当性を見るためにこのモデルを利用してみよう。円錐台の体積 $V$ は次式で表される。

$$V = \frac{1}{3}\pi h(a^2 + ab + b^2) \quad (1)$$

ここで $h$ は高さ、 $a$ は下底の半径、 $b$ は上底の半径である（図3参照）。それぞれを $n$ 倍した時の体

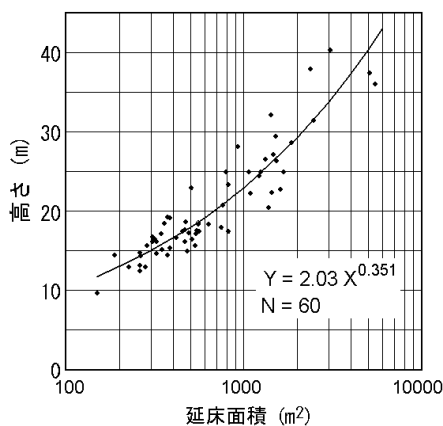


図2 天守の石垣天端から上の延床面積と高さの関係

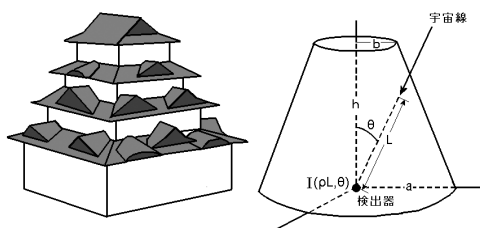


図3 天守の円錐台モデル

積  $V_n$  は (1) 式より  $V_n = n^3 V$  なので

$$n = \sqrt[3]{\frac{V_n}{V}} \quad (2)$$

となる。図2の経験式のX(延床面積, すなわちほぼ体積に比例)のべき指数は1/3に近い値である。

それぞれの天守の形は宇宙線線量率を決定する重要な因子になるかもしれないので, 形を比べてみる。体積で規格化した全天守の断面図を図4に示す。各天守の個性がよく表されている。

### 3. 測定結果と解析

1"φ×2"NaI(Tl)シンチレーション・スペクトロメータにより天守で計数率を測定した。計数率から線量率への換算は次のようにした。以前, 名古屋市営地下鉄の多くのホームで線量率を測定したことがある<sup>4)</sup>。今回, 同じ地下鉄ホームで測定した計数率と比較して線量率への換算係数を求めた。

天守測定の結果を図5に示す。木造4城にコンクリート製7城において石垣天端の階で測った結果である。木造よりもコンクリート製の方が低い線量率になっている。また, コンクリート製のほうが木造よりもバラツキが大きい。これは各天守の嵩密度の

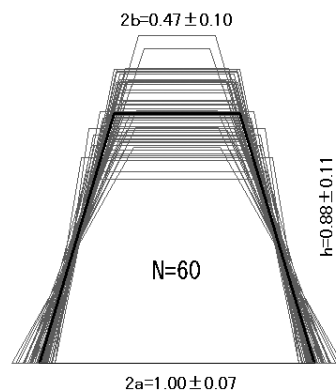


図4 円錐台モデルで表現した天守の形の比較(太線は平均像)。下底の直径2aを1としたときの上底の直径2b及び高さhの平均値と標準偏差

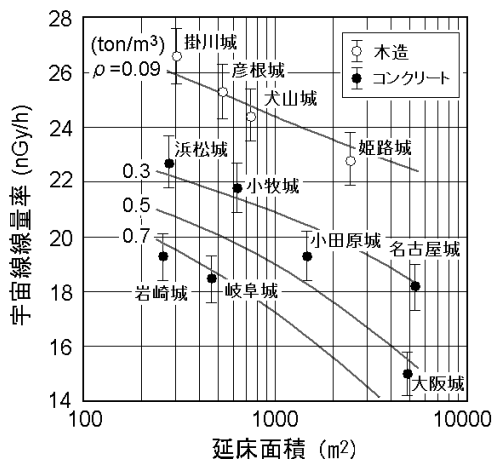


図5 測定結果とモデル解析

違いによるものと考えられるので図3のモデルで解析してみる。

密度  $\rho$  の物質を, 天頂角  $\theta$  で  $L$  の距離を通過した単位立体角当たりの宇宙線強度  $I(\rho L, \theta)$  に関する経験式が文献5, 6)に載っている。硬成分及び軟成分共に計算できる。図4の平均像の形に対して嵩密度  $\rho$  をパラメータにしてモデル計算した結果も図5に示してある。これを見るとバラツキの主な原因は各天守の嵩密度の違いによることがよく分かる。

図4で見た天守の形による違いはどの程度このバラツキに寄与しているのであろうか? 体積を  $6,000 \text{ m}^3$  (小田原城相当)に規格化した後, 上記60組のデータについて  $\rho = 0.4 \text{ ton/m}^3$  に対する線量率を計算した。平均値は  $19.4 \text{ nGy/h}$ , 標準偏差は  $0.082 \text{ nGy/h}$  となり, 形の違いの影響は無視できることが分かった。

図4に見られるように各天守の形がお互いにな

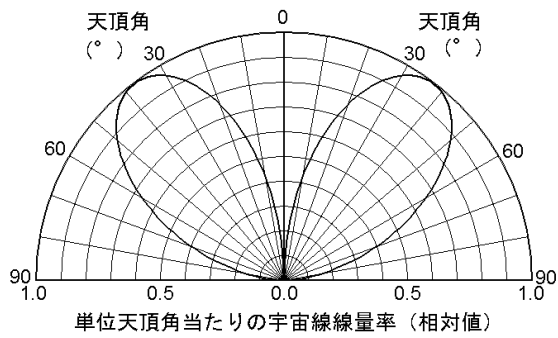


図6 地表面における単位天頂角当たりの宇宙線線量率

り異なる。それにもかかわらず線量率の違いがこのように小さいのはなぜなのだろうか？文献5,6)にある宇宙線強度の式で計算したところ、地表面上での単位天頂角当たりの線量率（単位立体角当たりの線量率を方位角で積分した量）の分布は図6のようになった。これによると天頂角37.5°の入射頻度が最も大きい。これは図4では変化巾が極めて小さい部位に対応する。

#### 4. おわりに

ここでは測定対象物の寸法データの得やすさから城郭の天守を選んだ。大学の卒業研究の場合は、指導教官の勤務先を対象にすれば校舎の寸法データを容易に入手できるはずである。対象が直方体で近似できるような単純な形の場合は解析が容易になる。直方体に近い校舎のいろいろな所で測定させて寸法データと突き合わせてみれば、宇宙線の透過力を理解させるのに恰好の研究テーマになるのではなかろうか。

#### 参考文献

- 1) 森島邦博, 原子核乾板を用いた宇宙線ミュオンラジオグラフィー, *FBNews*, No.494, 12-16 (2018)
- 2) 鈴木敬一, 金沢 淳, 宇宙線ミュオン粒子を利用した探査技術の応用地質分野への適用, *応用地質*, 57, 266-276 (2017)
- 3) 湊 進, 宇宙線を利用する非破壊計測技術, *放射線*, 17, 60-71 (1991)
- 4) Minato, S., Feasibility study on cosmic-ray nondestructive testing through structural analysis of subway stations, *NDT International*, 20, 231-234 (1987)
- 5) 湊 進, 宇宙線透視像, *放射線*, 19, 49-56 (1991)
- 6) 湊 進, 地下宇宙線強度の経験式について, 放地研特別寄稿シリーズ, SCS-0121, 放射線地学研究所 (2017)

(放射線地学研究所)