

発行人：惑星地質研究会 小森長生・白尾元理

事務局：〒193 八王子市初沢町 1231-19 高尾パークハイツ B-410 小森方 TEL. 0426-65-7128

〈アリゾナ通信〉

第21回月・惑星会議に出席して

小松吾郎 Goro Komatsu

今年の3月12日から16日にかけて、第21回月・惑星科学会議が、ヒューストンのジョンソンスペースセンターの一角で開かれました。発表論文は史上最多の700編近くに達し、アブストラクトは一段とその厚みを増していました。セッションも4か所で同時に開かれ、聞きたい話が同時刻にぶつかるというありさまでした。私は今回、金星、火星、それにリモートセンシング関係のセッションを中心にまわりましたので、この報告もそれらが中心となります。

マジェランに期待をかける金星

金星関係は、9月1日のマジェランによるマッピング開始をひかえて、特別のセッションがいくつか開かれました。ヴェネラ15・16号のマッピングから数年たった現在、地表面形態から解析することはほぼ出つくしてしまったので、発表内容は地球物理学的なものへと重点が移ったようでした。また、多くの話、とくにイシュタル大陸の形成機構やテッセラの起源等は、過去に提案されたことのまとめのようなものになっていて、やはりみんなでマジェランに期待しよう、といった感じです。

火星の火山群についての新しい考え

火星関係では、今回 MEVTV（火星の火山・テクトニクス・ガスの進化の略称）のセッションが開かれ、いろいろな発表がありました。私にとって関係の深い、マリネリス峡谷のテクトニクスの詳細なマッピングや、液体の水なしでの炭酸塩岩生成の話などは面白いものでした。しかし、やはり新しいデータの少ないということが、なんとなく大きな進展をさまたげているように見受けられました。そんななかで、火星の歴史の初期にプレート・テクトニクスが一部はたらいて、タルシス火山群は火山弧だったのではないか、という U.S.G.S. のケン・タナカの説には、ひじょうに触発されました。

火星の水をめぐる大胆な仮説

火星の気候・自転軸に関するセッションでは、アリゾナ大学のグループ（私もその一員）が、火星の大気・岩石圏の相互作用を水を触媒とした循環系と見たてる、新しい仮説を発表しました（本号の14pの論文紹介参照）。

この仮説は、火星には過去に海が、それもかなり最近まで存在したという大胆なものです。火星地質学についてそれぞれ違ったことを研究している私達のメンバーが、昨年秋”Icarus”にのっ

たパーカーらの火星の海岸線についての論文に触発されて、冬休みに一気に作りあげたものです。ここではくわしくのべませんが、私たちはこの説が、今までばらばらに考えられていた、水にかかわる多くの地質現象を、統一的に説明できるものと考えています。

フォボス計画の成果

ソ連のフォボス計画は、一般には完全に失敗したと思われているようですが、フォボスによる火星地表の多重スペクトル画像が、リモートセンシング関係のセッションで話題をよんでいました。フォボス2号は8~3.2 μm の波長域で、赤道地帯を中心に地表分解能5~30kmの多重スペクトル画像を得ていました。そのデータのうち、水和鉱物の分布が火山を中心として多いという結果は、マグマと永久凍土層の相互作用を示すものとして興味深いものです。

トリトンの火山の熱源は潮汐ではない？

外惑星関係では、海王星の衛星トリトンについての発表が多数をまとめていました。トリトンはおそらく海王星に捕らえられた天体である可能性が高く、初期の離心率の大きな軌道は、潮汐作用で円になったものと考えられます。その間に発生したひずみエネルギーによる熱で、かなりの地質活動が起こったのは、多分まちがいないでしょう。

しかし、トリトンで見つかった活動中の間欠泉 (geyser) は、太陽光線を吸収した表面の黒い層が、下層にある窒素の氷の層を暖め、それが気化して吹き出しているという話は、潮汐による熱源を考えなくともよいという点で面白かったと思います。

(Department of Planetary Sciences, The Univ. of Arizona)

論文紹介

月サンプル、月の集積と初期の爆撃

Ryder, G. 1990: Lunar Samples, Lunar Accretion and the Early bombardment of the Moon. Eos (weekly newsletter of A.G.U.), March 6.

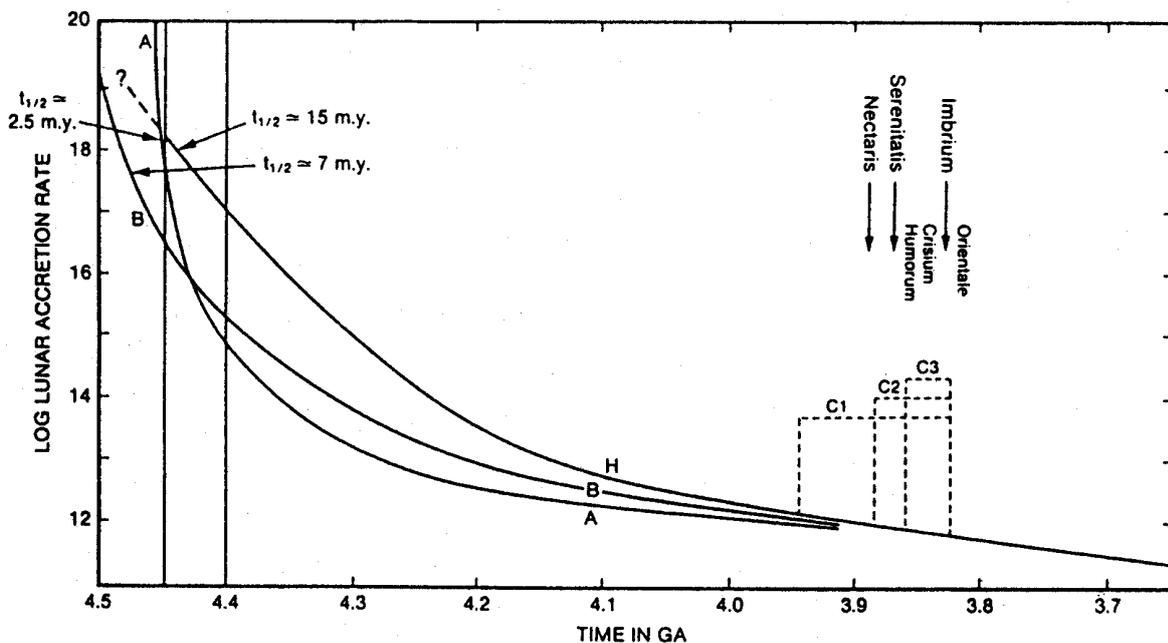
月にはスパイク状のカタストロフィー (破局的な激しい隕石の衝突) があったという考えは、Tera 他 (1974) によって提唱された。しかし、ボールドウィンとハートマンの反対意見が出されて以来、カタストロフィー説は不評なものとなった。ボールドウィンは、粘性によって地形はその険しさを失っているが、現在43億年前までのベイスンが確認できると主張し、高地の岩石の放射年代が38.5億年という年代を示すのは、すべてインブリウム衝突の結果であると考えた。ハートマンは、継続的な激しい衝突が、岩石の放射性年代をリセットしたため、それよりも古い年代を得ることはできないと考えた。しかし幾人かの研究者は、月のベイスンのサイズ分布から通常の衝突に加えてスパイク状の激しい衝突時期があったことを指摘し、スパイクの原因を推定している。

筆者はここで、月のクレーター形成史を見直し、最近10年間に得られたデータと月の起源に関する新しい概念について考える。筆者は、月の初期6億年間に激しい衝突があったという従来

の概念が、月のサンプルやリモートセンシング、月の集積の歴史などの研究から推定される特徴を満たしていないことを、見いだした。短期間の明瞭なスパイク状カタストロフィーが、39億年前にあった確実な証拠がある。

ハートマンやボールドウィンがカタストロフィーがなくとも済むとした理由のひとつは、遅延したカタストロフィーを生み出すには、5億年も太陽中心軌道に衝突天体を保存しなければならないという力学的な問題を解決できないからである。アノーソサイトのSm-Ndアイソクロン年代が44.4億年前しめすことなどから、44.5億年前には月にほぼ現在のような地殻が形成していたと推定できる。下図のハートマンの曲線では、44.5~44.0億年前の5000万年間に月の表面を厚さ200kmの付加物質がおおうことになり、月岩石から推定される月の成長史とは合わない。この際には、インブリウム衝突の38.5億年前付近に、月に付加される質量は、1つのピークを生み出したということがわかる。この期間にインブリウム衝突の2倍の質量が付加されたと見積もった。ネクタリス紀以降にはいくつかの巨大な衝突物質だけでなく、無数の小さなクレーターも加わった。もしネクタリス衝突が42億年前としても、その期間の衝突率はバックグラウンドのレベルよりもはるかに高かったはずである。アポロ16号のサンプルデータによるとネクタリス衝突は、39.2億年前よりは確実に新しい。

6つの月隕石は、アノーソサイト質のKREEPに乏しい隕石で、3つの異なった時期に月から飛びだした年代を示す。いっぽう、コンドライト質隕石やエイコンドライト質隕石は、高地の岩石が示す39億年前の衝突ピーク年代を示さない。つまり、月の歴史は残りの内部太陽系までしか及んでいなかったことを示している。ウェザリル(1980)は、オリエンタレ、インブリウム、そしておそらくセレンタテスの衝突物質(これらの衝突は40億年前より新しい)は、太陽を公転



月の集積率 (g/年) の時間変化。曲線 H は Hartmann(1980)。曲線 A と B は、44.5 億年前以降には月の全質量の 1% 以下の集積しかなく、38 億年前以降の確立されたクレーター計数が滑らかにそれ以前につながると仮定した場合の曲線。曲線 A は遅く始まったが急速な集積、曲線 B は早く始まったがゆっくりの集積を示す。44 億年~40 億年前の期間では曲線 A・B とも曲線 H に比べてはるかに少ない衝突しか起きなかったことがわかる。C1、C2、C3 の線は、インブリウムの衝突物資の 2 倍の質量がそれぞれの期間に衝突したことを示す。

していた大きな微惑星が地球のロッシュ限界で破壊したものであると考えた。しかし、月に比べて水星には大きなベイスンが不足しているため、カタストロフィーが地球-月系に限られたものであったと推定される。まず、地球への火星大の天体の衝突によって地球をめぐる塵の円盤ができる。この円盤から1つの大きな月（現在の月）と2つの小さな月が集積する。この2つの小さな月が互いに近づき、39億年前に衝突・破壊して、月と地球にカタストロフィを引き起こした。これらの破片は、地球-月系から急速に取り除かれた。

この月の歴史は、金星、水星、火星の衝突史には影響を与えない。それらの天体では集中的なクレーター衝突はもっと早期に終わってしまったか、あるいは独自の歴史があるのかもしれない。

(白尾元理)

金星の火山活動のスタイル アレシボレーダーによる新データ

Campbell, D. B., Head, J. W., Hine, A. A., Harmon, J. K., Senske, D. A., & Fisher, P. C., 1989: Styles of Volcanism on Venus: New Arecibo High Resolution Radar Data. *Science*, 246, 373-377.

1988年夏、アレシボの300mレーダーを用いて金星観測をおこない、北緯20°付近を中心とする約 $32 \times 10^6 \text{km}^2$ （金星表面の7%）の地域について、新しいデータが得られた。

観測波長は12.6cmで、解像度1.5~2kmの質の高い画像が得られた。表面への電波の入射角は12°~60°、このうち大部分は20°~50°で、これはマゼラン号で予定されているマッピングの入射角に近い。観測地域は、Beta Regio（経度270°）の西からGuinevere Planitiaを越えてEisila Regio（経度10°）の東までをカバーし、Guinevere Planitiaの中央部、Eisilaの北部、Sedna Planitiaの南部を含む。これらはベネラ15・16号の画像の南端、パイオニアビーナス号の画像、地上からの初期のレーダー画像等と重複し、比較検討するのに役立つ。

Beta Regio（ベータ地域）は、リフト帯の集中で特徴づけられる大きな複合火山体の高地で、最大のリフトは南北にのびるDevana Chasmaである。北方のRhea Mons（レア山）では、リフトの形成に先行して火山ができたように見えるが、その南のTheia Mons（ティア山）ではリフトの形成につづいて火山活動がおこり、リフト帯を埋めて火山が成長したらしいことを、従来の画像は示している。

今回の新しい画像では、ティア山は3つまたはそれ以上のリフト帯の交差するところにできていること、広範な断層運動が幅60~100kmの帯状に、N10°Eの方向に山体を切っていることが明らかになった。この断層帯の方向は、ティア山のすぐ北のDevana Chasmaのリニアメントの一般方向（N30°~40°E）とは異なり、山体の南では2つの腕に分れる。この関係は、リフトの拡大が異なった場所と方向で別々の時期におこったことを示している。中心の暗いカルデラ状の部分の形も、明らかにこの断層帯にコントロールされている。

中心の暗い構造の周囲には、直径300~400kmの明るい堆積物があり、その外側にリフト帯の

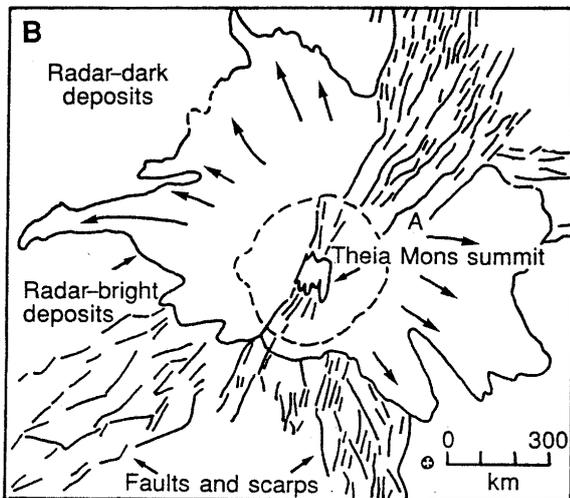
方向の両側に蝶形の堆積物が広がる。これらは山腹に積もった火山噴出物らしい。とくにティア山の北東では、溶岩流は断層で刻まれたリフト内部に重なっているように見える（左下の図）。これらの観察から、火山活動とリフトの形成は火山とリフト内部の進化に深くかかわっていること、リフトの拡大はベータ地域の進化を通して連続的であったと結論できる。

Eisila Regio（エイシラ地域）は平均面からの高さ 1.5km の高地で、幅 1000~3000km、西~北西方向に Aphrodite Terra から西へ 1 万 km ものびている。その上にある Sif Mons（シフ山）は幅 400~600km の楕状火山体で、中心に直径約 50km の円形火口をもち、そこからレーダーで明るく見える溶岩流状のものが放射状にのびている。これら flow units は幅 20~30km、長さ 100~150km もあるが、ときには 400~600km ものびるものがある（右下の図）。シフ山のテクトニックな発展はベータ地域と同じではないけれども、堆積物の分布は地質構造に支配されている。

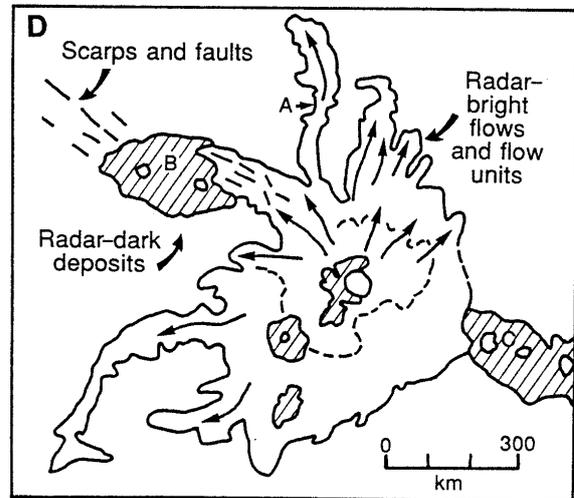
Guinevere Planitia（グイネベレ平原）はほぼ平均面の高度の平坦な平原である。ここには多くの噴出源から流れだした、レーダーで明暗のまだらを示す溶岩流が折り重なっている。その火山活動のスタイルは、地球上の平原の火山作用に似ているように見える。

以上のように、新しく得られた画像の地域のほとんどは火山噴出物でおおわれている。この観察から、2つの火山活動のスタイルがみちびき出される。1つは、ティア山やシフ山のような火山体をつくる中心性噴火の活動で、それは地質構造や地形に支配され、堆積物は蝶形の分布を示す。とくにティア山では、リフトの拡大と火山活動の間にコンスタントな相互作用がある。もう1つは平原の火山作用で、低地に多くの噴出源をもち、溶岩流とそれに関係した堆積物が重なり合って、比較的平坦な低地を形成する。これら平原の火山作用は、高い火山体をつくる作用に加えて、金星表面の進化の重要な側面となっており、金星内部の熱損失に大きく寄与していることを示している。

（小森長生）



Theia Mons のレーダー画像からのスケッチ



Sif Mons のレーダー画像からのスケッチ

火星における太古の海—陸—大気の相互作用

Baker, V. R., Croft, S. K., Gulick, V. C., Kargel, J. S., Komatsu, G., and Strom, R. G., 1990: Ancient ocean-land-atmosphere interactions on Mars: Global model and geologic evidence. Lunar and Planetary Science XXI (Abstracts of 21th Lunar and Planet. Sci. Conf.)

火星は過去において何回もの気候変動を経験したことが、多くの地質学的事実、すなわち流水の活動や氷河作用、永久凍土のプロセス、衝突クレーターの侵食などからわかる。

カタストロフィックな洪水による大量の水の放出は、赤道地域の割れ目帯からタルシス高地 (Tharsis Bulge) 周辺に向かって集中的におこった。割れ目系に蓄えられた大量の水は、タルシスの割れ目系に中心をもつ火山活動が引き金となって放出されたであろう。この火山活動は、地球のリフト帯の場合と同様に、短期間に集中的におこったと思われる。

チャンネルの侵食された部分の容積から判断すると、北方の低い平原に流れだした水の総量は、少なくとも $7.5 \times 10^6 \text{km}^3$ になる。北方平原に集まったこの水は、北半球のボレアリス海 (Oceanus Borealis) を形成した。その痕跡は、水盆堆積物、多角形の割れ目群、地下水がつくった地形などで示される。平原に急激に入り込んだ比較的暖かい大量の水は、北極冠の CO_2 の氷を蒸発させ、続く水の蒸発とボレアリス海をおおう海水の昇華で、大気圧は現在より高くなったであろう。こうして大気中に増加した水蒸気や CO_2 などによって、温室効果が促進され、自転軸の傾きや軌道離心率の変化と相まって気候は和らげられた。

ボレアリス海の形成で生まれた新しい気候は、おそらく比較的短寿命で、地球上の氷河性気候に似ていた。クレーターの多い高地や、高地と低地の境界には、周氷河地形が広く見られる。また南の高緯度の高地には、アルプス型の氷河作用の証拠があり、outflow channels 内には厚い氷が形成された可能性がある。これらの存在はおそらく、アマゾン紀初期の氷河性気候を反映している。最後の氷期には、南極から南緯 45° 付近まで氷床が広がっていた。海から蒸発した水は、クレーターの多い高地に移り、海の水は海底へも浸みこんで、しだいに減少した。こうして水蒸気による温室効果はなくなり、大気の状態は急速に現在と似たものになった。

上にのべたような一連のできごとは、アマゾン紀初期にもっとも典型的におこったが、このプロセスは火星の歴史の中で、いろいろと姿を変えてくり返されたであろう。地下の帯水層からの水の放出は、広く火山活動がおこったノアキス紀の間に最もはげしかったであろう。熱水の循環は谷地形ネットワークの形成に重要な役割をはたしたが、つづく海の形成による海洋性気候で増加した降水によって促進された。火星面にグローバルに分布する scapolite の存在は、 CO_2 を含む熱水過程の結果であろう。降水の大部分は、浸透性のつよい火星の地盤 (メガレゴリスと溶岩流) に浸みこみ、その後泉として湧き出し、sapping によって谷が広げられた。谷の発達のような時期は、少なくとも1つはヘスペリア紀にあるようにみえる。海からリサイクルした水の多くは、海洋性気候時代の終わりには、クレーターの多い高地の帯水層に捕らえられたであろう。そこでは、つづく火山活動の集中で放出されるまでとどまっていたと思われる。はじめ多かった火星

の水は、大気が逃げる過程でしだいにすくなくなった。

この過程は、ノアキス紀には流水の活動が激しかったが、アマゾン紀になると氷河地形や氷河地形が多くなることに対応している。アマゾン紀におこった、マヤ谷 (Maja Vallis) とエリシウムからの outflow channel の形成の終わりには、古い海洋底と縮小した海の海岸線が侵食された。比較的温暖な気候で大量の水があり、十分な時間があれば、生命の発生につごうのよい条件が生まれたことは否定できないだろう。

ボレアリス海の形成と消長は、惑星規模の地質現象のモデル化と検証に大きな意味をもっている。周期的な海の形成と熱水循環の関係を証明するために、以下の研究が必要である。

- ①火山をとりまく基底の断崖 (オリンパス山のふもととの断崖が、海をおおう氷の下でできたテーブル山か、波浪侵食をうけた火山島のまわりの断崖なのかの問題)
- ②マリネリス峡谷中の成層堆積物 (地下水があふれて峡谷内に湖を形成したときできたと考えられる湖成層)
- ③海岸線 (南の高地と北の低地の境にある堆積物は海の堆積物だと考えられること)
- ④流水によるチャンネル (Alba Patera などにあるチャンネルは、海から蒸発した水分の降水によってできた可能性)
- ⑤広範な氷河地形の分布 (カール、エスカー、ケトルのような広く分布する氷河地形、45° S以南の outwash plains をつくった水が、ボレアリス海に由来するらしいこと)
- ⑥衝突クレーターの侵食 (激しい衝突時代のあとに、流水・氷河・風による侵食と堆積作用で、何回かのクレーター消滅期があったと考えられること)

〈紹介者註〉前号で Gulick & Baker による火星の谷と古気候の論文を紹介したが、今回紹介したアブストラクトは、さらにそれを発展させ、火星の歴史における海と陸と大気の相互作用を総合的に検討したものである。いずれ詳しい論文として発表される由である。 (小森長生)

金星、テペフ山の形態と弾性たわみモデル

Janle, P., Jannsen, D., and Basilevsky, A. T., 1988: Tepev Mons on Venus: Morphology and Elastic Bending Models. *Earth, Moon, and Planets*, 41, 127-139.

金星のベル地域南西端にあるテペフ山は、直径 250km、周囲からの高度 5km の大型火山で、山麓を 0.5km の深さの堀でかこまれている。この堀は、火山体の荷重によるリソスフェアのたわみと考えられ、これから地殻の硬さと厚みが推定できる。 (K)

パイオニアビーナス号のデータからみたベネラ 15・16 号の地質単元の特性

Bindschadler, D. L., and Head, J. W., 1989: Characterization of Venera 15/16 Geologic Units from Pioneer Venus Reflectivity and Roughness Data. *Icarus*, 77, 3-20.

ベネラ 15・16 号で得られた金星表面の地質単元 (スムーズな平原、粗いリッジ帯ユニット、帯状地域の高絶縁ユニット、溝地帯の発散性ユニット) の特性を、パイオニアビーナスのレーダ反射率等から再検討した。その結果、テクトニックな変形を受けた地域のほうが、概して平原より表面が粗いことがわかった。 (K)

INFORMATION

近く開かれる学会をまとめてお知らせします。

●第23回月・惑星シンポジウム

期日：1990年7月9日（月）～7月11日（水）

会場：宇宙科学研究所2階会議場（相模原市由野台3-1-1）

●第2回惑星科学夏のセミナー

期日：1990年7月31日（火）～8月3日（金）

会場：河口湖畔

参加希望者およびくわしい内容を知りたい方は、世話人代表（大槻圭史、〒113 文京区2-11-6、東京大学地球物理学教室）までご連絡ください。

●第29回万国地質学会議（京都）のファーストサーキュラー発行のお知らせ

1992年夏に開催される万国地質学会議のファーストサーキュラーが、3月末に発行されました。この会議では、惑星科学・比較惑星火山学などの話題も含まれています。サーキュラーを希望する方は、官製ハガキに①氏名、②連絡先住所電話、③希望部数を明記して、〒305 筑波学園郵便局私書箱65 第29回万国地質学会議事務局にお申込ください。

●MARE VOLCANISM & BASALT PETROGENESIS

期日：1990年10月27～28日（Geol. Society of America Annual Meetingの直前）

会場：Dallas, Texas, U.S.A.

1975年のワークショップ以来開催されていなかった月の海の火山活動と玄武岩の成因に関する集会で、最近15年間のこの分野での進歩が話題となります。詳しくは、Lawrence A. Taylor (Department of Geological Sciences, Univ. of Tennessee, Knoxville, TN, 37996, USA) に問い合わせして下さい。

編集後記：モンスター彗星と騒がれたオースチン彗星でしたが、ご覧になられたでしょうか。

私は、4月25日に八ヶ岳美しの森から眺めました。口径42mm、7倍の双眼鏡で見ると午前2時半、地平線から昇ったばかりのときは球状星団のようでしたが、薄明直前の3時半にはうっすらと青く輝く尾が約4°伸びていました。近くにあるアンドロメダ大星雲と同一視野に入り、期待をしていなかったせいもあってか、思ったよりもよくみえました。この頃が一番明るかったようで、予想光度の0～2等に対して、実際には4～5等程度だったようです。この食い違いは、構成物質にまだ未解明の点が多いため、この日は身をもってこのことを実感しました。

(S)