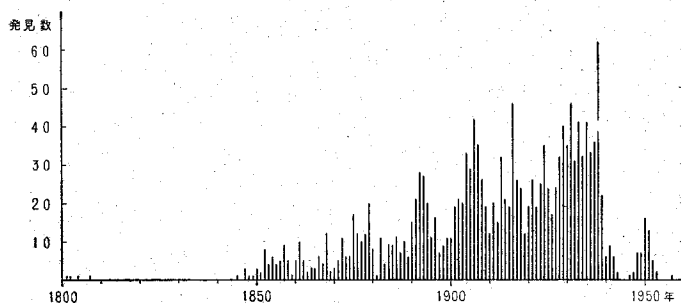


小惑星の光度と個数について

古川 麟一郎*

先に紹介された高野長英による小惑星の解説では、4つの小惑星についてその当時知られていたいろいろな資料が誌されている。この解説が書かれた年は1846年で高野長英の死亡した年は1850年であるが、1845年には5番目の小惑星 Astraea が発見されており、1847年には3つ、1848、1849年にはそれぞれ1つずつ小惑星が発見されて計10ヶになっている。もちろん当時の日本は鎖国時代で自由に海外の天文



第1図

書が入ってこなかったため、このような最新の知識を長英が知らなかったのも無理のないことであろう。現在では公認され番号のつけられた小惑星は1650におよんでいる。その増加の様子を1年毎に調査したものが1930年まで平山清次：“小惑星”に公表されているので、これを1962年までの資料で追加・訂正したものが第1図である。ここである年に対する数は、その年に番号のつけられた小惑星の数ではなくて、番号のつけられた小惑星を、発見の年によって分けたものである。この図で2~3の面白い事実がみられる。初期の小惑星の発見は、眼視で恒星図と比較しながら運動している天体を探す方法をとっているため、良い恒星図が必要である。ベッセルによって計画されたベルリン学士院の星図は、1830年より30年間かかって完成した。1850年頃からの発見の増加は、この影響が相当あらわれているのではないかと思われる。そして1850年から1890年まで10年ずつに分けて、発見の年平均をとってみると5~10ヶであるが、1890年代になると16ヶとなり、それ以後1930年代までは20ヶを下ることがない。これは明らかに、1891年にはじめられたウォルフによる写真術の応用で、いわゆる大量生産が始まったためである。1939年からは第二次世界大戦が始まっているが、そのためと思われる異常な発見数の減少がみられる。そして1914年からの第一次世界大戦では、天文学をのんびりやれた比較的暢気な戦争だったらしいことが推定できる。戦前ドイツの天文計算局にあった小惑星中央局が、1947年からアメリカのシンシナティ天文台に移った。戦前の中央局時代は番号をつける基準が割合ゆるやかであったが、現在の番号をつける基準はかなりきびしく、そのため戦後の発見数が少ないという事情がある。それと現在小惑星の発

見や観測に活躍している口径30cm程度の写真レンズで見つかるものは、ほとんど発見されてしまったのではないと思われる。小惑星の軌道半径の平均を2.7天文単位、離心率の平均を0.15とすると、近日点と遠日点とで衝となる時の光度の差は2等級に達し、最近発見されるものの多くは、暗いために軌道上の全周で観測することが困難で、近日点近くの衝の時だけしか観測できない。ちょうど周期彗星が近日点通過の近くだけ観測されるのとよく似ている。

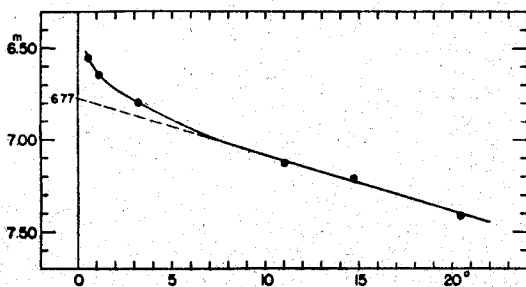
それでは小惑星の全数はいくら位かということになると、統計をとるためにいろいろ問題となることが生じてくる。もちろんこの場合、暗い小惑星ほど数の多いことが予想されるので、ある光度までの全数ということである。その問題点というのは、先に述べたようにウォルフ以来写真により小惑星の観測を行ってきたが、今まで位置を測って軌道を決める方面に重点がおかれたために、光度の測定があまり正確ではなかった。特に各天文台でそれぞれ適当な方法で光度を決めたために、小惑星全体に同じ尺度で示されてなく、このような資料から光度別の統計をとったり、それから小惑星の大きさや全質量を求めると、かなり誤差を生じるおそれがある。小惑星の光度は2つの系列に分けられて、その1つはボン星図をもとにしたもので、比較的この系列によったものが多い。これは初期の小惑星の光度が明るく、そして眼視観測であったために、変光星の場合と同様にボン星図と比較して光度を決めた。写真観測の時代になっても、他により方法がなかったため、ボン星図の光度に従って写真乾板上で小惑星の光度を測った。ボン星図は10等級までの恒星しか与えられていないので、暗い小惑星の光度を決めるためには恒星の露出時間を変えて写した光度スケールを作って比較し、又は同じ乾板上で既知の小惑星と新しいものとを比較するといった方法で、16等級位までボン星図のスケールをのばしていった。このように

* 水沢緯度観測所

K. Furukawa: The photographic magnitude of asteroids and a relation between their magnitude and numbers.

して決められた光度は、通常後で述べる位相効果を修正しないで、太陽と地球からの距離がそれぞれ1天文単位である時のものに引直して、**絶対光度**として小惑星表に採用された。この系列のものを写真眼視等級あるいは簡単に**眼視等級**と呼んでいる。ところがボン星図は眼視光度であるが、写真乾板の方は青に感度の強いものを主に使っているため、ボン星図のスケールをそのまま拡張したとはいえない。従って現在の天体測光学で定義されている写真眼視等級とは異ったものである。もう1つはいくつかの天文台でボン星図によらず、Selected Areasの光度、特にウィルソン山天文台で決定した写真光度を基準にして小惑星の光度を測っている。この方法で決めたものは**写真等級**として小惑星表にはイタリックで表示されている。この2つの系列では眼視等級の方が写真等級より明るく示され、その差は大体1.1~1.7等級程度であるが、天文台によってかなり系統的なものである。

そこでカイパーは1949年に小惑星の光度の組織的な観測を計画し、写真光度の決定は1950年からマクドナルド天文台で開始した。さらに明るい小惑星については光電管による3色測光も実施し、約20個の小惑星の変光曲線が得られている。写真観測による調査は口径25cm, f7の写真レンズを使用し、写真光度が約16.5等級までのものすべてを調べ、16等級までの小惑星について、統計を行なうための信頼できる資料を作るのが目的である。観測のプログラムは、新月の時の衝の方向を中心にして $40^\circ \times 40^\circ$ の星野を撮影する。従って次の新月のものとして、約 10° ずつ重なっていることになる。 $40^\circ \times 40^\circ$ の星野を写すために 8×10 インチの乾板を使ったので、天球上での角度では 6.5×8.1 となって約48枚使用している。そして乾板はイーストマン103a-Oを使用して、露出は10分間であり、約1時間後もう1枚とってペアとし極限光度は恒星で16.5~17.5等級、小惑星で16.0~17.0等級となっている。このプログラムで1950年8月から1952年5月まで続けられ、光度スケールを作る Selected Areas のものも含めて、乾板の総数は2404となった。2.8天文単位にある小惑星と地球の会合週期は15ヶ月であるから、いつも16等級より明



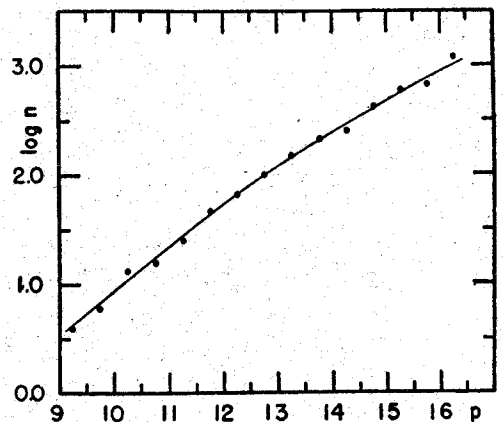
第2図

るものなら2度観測されることもあり、1.7天文単位より遠くにあるものなら必ず1度は観測できることになる。黄道に沿って 40° の幅で観測しているため、軌道面傾斜の大きい小惑星はこの調査からもれる場合もあるが、その数は極くわずかであると思われる。

この観測から得られた小惑星の光度は、基準にした光度スケールが単一のものであって、すべての小惑星を1つの系列にまとめてある。しかし小惑星の光度は、太陽と地球からの距離によっても変わるし、月のみちかけのように地球と太陽と小惑星の位置関係によっても変化し、小惑星自身の自転によって変光するものもあるので、観測から得られた光度はその時のみかけのものである。これを統一した光度で示すには、衝の平均光度（正確には平均値ではないがそれに近いもの）と、先に述べた絶対光度との2つが小惑星表に示されている。小惑星から太陽と地球までの距離をそれぞれ r と Δ で示すと、みかけの光度 m と絶対光度 g の間には次の関係がある。

$$m = g + 5 \log r + 5 \log \Delta + F(\theta).$$

ここで $F(\theta)$ は位相角 θ によって決まる関数で**位相効果**と呼び、自転による光度変化は、おのおの小惑星について長期間詳しい観測がなければ決められないものであるから省略した。 r や Δ はその小惑星の軌道要素が与えられると計算できるので、位相効果を省略するとすれば、みかけの光度を絶対光度に引直すのは簡単なことである。位相角 θ は小惑星が黄道上にあって、そして衝となった時 0° になるが、軌道面傾斜があるため、 4° 以下の位相角で観測されることは非常に少ない。ミュラーは17ヶの明るい小惑星の観測から、位相角 1° について明るさの減少の係数を0.030等級と決め、位相角に比例した関数と考えてよいとしている。カイパーの協力者ゲーレルスは、位相角が 0° 近くになる20番目の小惑星Massaliaを光電測光し、位相効果を確めた。光電測光の結果この小惑星は約8時間の週期で0.2等級程度変光することが判ったので、光度曲線の平均値を決めて位



第3図

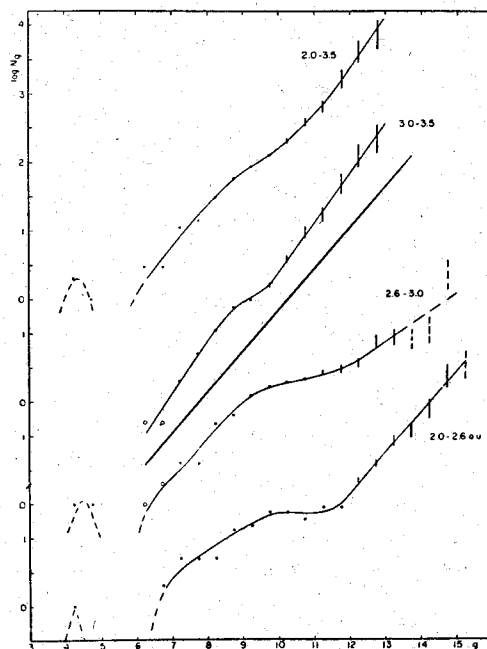
相角に対応させたものが第2図である。位相角が 7° 以上の時はミュラーの結果とよく一致し、位相角と光度変化の関係は直線で表わして、その係数は0.031等級である。第2図で見られるように、位相角が 7° より少なくなると、光度変化は直線から離れて、急に明るくなる。この現象はこの小惑星だけの特殊なものでなく、光电測光より精度の悪い写真による調査にも現れているので、他の小惑星にも共通なものと考えられ衝効果とゲーレルスは名付けている。しかし、大部分の小惑星の衝の時の位相角は 4° 以上なので、衝効果を考慮して絶対光度を導くより、大きい位相角の観測から直線的に外挿して、位相角 0° に対する値を絶対光度と定義するのが実用的である。そして22ヶの小惑星について、位相角の 10° の変化から平均した係数は0.023が得られた。これまで述べたことを全部考慮して、番号のつけられた小惑星に対して、新しく統一された光度系列すなわち国際写真等級が決定され、最近の小惑星表に採用されている。

このような資料が与えられると、小惑星の全数に関する統計もかなり信頼できるものが得られる。カイパー達の写真で観測された、みかけの光度を0.5等級毎に分けて数えたものの対数と光度との関係は第3図となる。小惑星の光度 p に対する数 n の対数はかなり直線に近い。第3図に示した2次曲線でこの関係を表わし、19.5等級まで延長して、小惑星の全数を全天に引直してみると12500ヶとなる。パーデがウィルソン山の100インチ反射鏡による写真から、19等級までの全数を調べた結果は44000ヶであり、ハッブルによる同様な調査は30000ヶで、第3図の延長とはあまりよく合わない。そして第3図の2次曲線によると25等級の小惑星が最も多く、40等級になると全天でわずかに10ヶということになってしまう。これは2次曲線で表わしたために生じた矛盾であって、みかけの光度 p とその光度の小惑星の数 N_p の対数は次の1次式で表現するのが適当である。

$$\log N_p = -2.38 + 0.35p$$

この式によると19.5等級までの全数は33600となつて、先の2つの観測値と一致してくる。

絶対光度は、小惑星の反射能が全部同じであると仮定すると、小惑星の直径を推定する手がかりになる。今小惑星の反射能を水星と火星の平均値とすると、絶対光度6.5等級で約100 km、11.5等級で約10 km、16.5等級で約1 km程度の半径になる。カイパー達の得た絶対光度 g とその光度の小惑星の数 N_g の対数との関係は第4図である。この図で小惑星の軌道長半径によって、内側のもの、中間のもの、外側のものに分けてあり、その範囲はそれぞれ2.0~2.6、2.6~3.0、3.0~3.5天文単位である。暗い光度に対して縦線で示したものは、統計が不確かなため、最大・最小の限界を推定した値であ



第4図

る。3通りに分類された曲線には、注意すべき差が現われている。外側のもでは、大体暗いものほど数も多いが、9等級付近でやや増加の割合が減少している。中間のものでも同じような現象がみられ、10等級位からの増加の割合は非常に少なくなっている。そして内側のもでは10~12等級の間の変化がないようにみえる。この図の中にある直線は、各等級の間の総質量が等しい場合の増加を示している。従って中間のものは小さいものが少なく、内側のもでは大きいものが比較的少ないといえる。このような大きさに対する数の分布の不均一の影響が、先の第3図に現われて2次曲線に近い形を示したものと思われる。それで N_p の式の適用は導いた光度範囲だけに止め、暗い小惑星の数を推定するには不適當であるといえる。第4図の3つのグループの曲線と、平山清次の小惑星の族との関連について調査する必要があるだろう。小惑星の族についてブラウーが平山の研究を拡張しており、その6, 7, 8, 9番の族($2.15 < a < 2.316$)と5, 27, 25, 26, 24, 4, 23, 29, 22番の族($2.316 < a < 2.6$)が内側のもに含まれているが、族に属していない小惑星も含まれている。中間と外側のもでは、族に属していない小惑星の割合が大きくなる。そして族の大部分がおのおののグループにあるため、問題はかなり複雑で、簡単に結論が導き出されそうにない。

参考文献

- 1) I. Groeneveld and G.P. Kuiper: *Ap. J.* **120**, 200, 1954.
- 2) T. Gehrels: *Ap. J.* **123**, 381, 1956. 3) T. Gehrels: *Ap. J.* **125**, 550, 1957. 4) G.P. Kuiper *et al.*: *Ap. J. Supp. Series No. 32*, 1958. 5) 平山清次: 小惑星.