

ISSN 0452-2982
UDC 522.59:
523.44

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-439

マルチスペクトラル・ビューワーを使い
天体写真から小惑星を検出する方法

磯部俊夫・松島弘一

1981年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

マルチスペクトラル・ビューワーを使い*

天体写真から小惑星を検出する方法

磯部俊夫** 松島弘一***

1. まえがき

シュミットカメラによる2枚の天体写真から、マルチスペクトラル・ビューワーを使用して、小惑星を検出する方法を考案したので報告する。

小惑星は主として火星軌道と木星軌道の間において太陽を回る微小天体の総称であるが、正式に登録されている数は2357個(1981年3月1日現在)あり、実際にはその100倍以上の存在が予想されている。この中には火星軌道や、さらに地球軌道の内側に入りこむ特異な軌道を持ったものがあり、Amor 群あるいはApollo 群天体と呼ばれている。われわれはこれらの特異な天体を中心として、小惑星への探索ミッションの可能性について検討を行なっている^{1~2)}。これらの天体は一般に非常に小さく、また地球に接近した際の相対速度も大きいので、地上からの観測では限界があり、その組成や物理的性質を詳しく調べるためには宇宙船による探査が必要になる。しかし、これらの小惑星に関して、わかっている軌道精度は十分なものではなく、また未知の興味ある天体の存在も予想される。そこでこれら研究の手始めとして、シュミットカメラによる小惑星の探索を行っている。シュミットカメラは非常に広い視野の星を撮影することができ、新しい小惑星の探索では大きな威力を発揮する。しかし、この観測結果(写真)から小惑星を検出して、その軌道データを得るには非常に大きな労力を必要とする。そこで恒星間を移動する小惑星を情報処理的な手法で検出する技術の開発を目標とした研究も同時に進めている。

シュミットカメラによって撮影された乾板あるいはフィルム上の多数の星像の中から、小惑星を見つ

け出す作業は簡単ではない。特に口径が大きく、また視野が広がる程、フィルム上の星像の数は多くなり、非常に大きな労力と時間を要することになる。この問題に対する最終的な解決は、天体写真の完全なコンピュータ処理ということになるだろうが、ここでは時間をおいて撮影した同じ星野の2枚の写真を、異なる色のフィルターを通して合成した画像から小惑星を判別する方法を試みた。その結果、良好に小惑星を検出できたので報告する。

天体写真の撮影は東京大学宇宙航空研究所の鹿児島宇宙空間観測所(KSC)の50cmシュミットカメラにより行った。

2. 乾板から小惑星を検出する方法

小惑星の観測は写真観測によって行われている。したがって、撮影した乾板あるいはフィルムからどのようにして小惑星を検出するかは、各観測者にとって重要な問題である。小惑星検出方法には特にオーソドックスな方法はなく、各観測者がそれぞれ自分の観測装置、観測目的にあわせ、各々が独自の工夫をし、検出している。どのような検出方法も、惑星の運動が、恒星とは異なっているという特徴をとらえ、時間をかけて惑星と恒星の運動の差異がでるような写真を取り、写真を解析し恒星と惑星を分離するという方法によっている。

現在、観測者によって行われている小惑星の検出方法として、次のようなものがある。

(1) 二重露出による方法

赤道儀による追尾を行いながら、まず写真撮影を行う。撮影終了後も追尾はそのまま続行する。ある一定の時間をおいて、前に撮影した乾板上にもう一度撮影を行う(二重露出)。その際、カメラあるいは乾板を赤経または赤緯方向にわずかにずらせる。そうすると、撮影された乾板上では恒星はすべてず

* 昭和56年5月21日受付

** 計算センター

*** 計測部

らした方向に平行に移動した2点として写るが、小惑星による2像は、それらに平行でない。

(2) 長時間露出による方法

赤道儀により一定時間追尾しながら露出する。恒星は点として乾板上に写るが、小惑星は恒星間にその運動の軌跡を残す。

(3) エトカーフの方法

長時間露出の一種であるが、恒星と惑星を逆にする。すなわち、小惑星の予測される運動と同じ方向にカメラあるいは乾板を移動させる。小惑星は点状に写るが、恒星は棒状になる。

(4) 撮影時刻を異にする同一星野の乾板を使う方法

撮影時刻を違えてとった同一星野の写真では、恒星は同じ位置に写っているが、小惑星は場所を移動して写っている。したがってこれらの乾板を比較することにより小惑星を捜し出すことができる。捜し出すテクニックとして次のような方法がある。

- 2枚の写真を1枚の印画紙上にずらして焼つける。こうして出きる写真は(1)の二重露出法で撮影された写真と同じものになる。また小惑星の移動量が大きい場合は、小惑星は二つの異なる星の像として見える。

• ブリンクコンパレータによる検出

ブリンクコンパレータは2枚の乾板を光学系を使い一つの像として見れるようにしたビューワーの一種である。乾板を載せるマウント台はX、Yの2方向と回転移動が精度よくできるような機構になっており、装着した2枚の乾板の恒星像を容易に一致させることができる。乾板の裏側に光源があり、また光源と乾板の間に回転式のシャッターが取り付けられ、それぞれのシャッターは交互に開くようになっている。したがってブリンクコンパレータの作る像は、2枚の乾板の像を交互に写し出したものとなる。恒星像を一致させてあれば、ブリンクコンパレータからの恒星像は変動しないが、小惑星の像は点滅しながら2点間を跳ぶように見え、明確に恒星と小惑星の判別ができる。

ブリンクコンパレータは東京天文台で小惑星観測に使用されている。

(5) 二重露出による方法の変形

一定時間追尾しながら撮影中に乾板またはカメラを赤経または赤緯方向に少しずつずらす。恒星はすべて平行な棒状に写るが、小惑星はそれらに平行にならない棒状に写る。

3. マルチスペクトラル・ビューワーによる検出

われわれは小惑星探索の目的でKSCのシュミットカメラによる天体写真の撮影を行った。KSCのシュミットカメラは、科学衛星トラッキング用の目的のために作られたもので、本格的な天体観測には向いていない。極軸の追尾が最大24分という制約を受ける。

シュミットカメラは広範囲の天球を撮影することができるのが特徴であり、必然的に撮影されるものは低倍率となる。KSCのシュミットカメラの場合フィルム上1mmが天球の252"（天球の1"が3.9ミクロン）に相当する。

小惑星の日運動を約1000"と仮定すると、24分間の移動量は約17"となる。17"はフィルム上では約66ミクロンとなる。したがって、2章で述べた小惑星検出法の二重露出法あるいは長時間露出法では、フィルム上66ミクロンの精度で恒星との差を検出する必要がある。KSCシュミットカメラで撮影した十数等の恒星の星像の大きさは直径数十ミクロンに達し、撮影される星の数は数万個に及ぶ。数万個の中から数個の66ミクロンの像の変化を検出するのは絶望的である。

われわれは、2時間の間隔をおいて同一星野の写真を2枚撮り、小惑星を見つけることにした。2時間の間に小惑星はフィルム上で約0.3mm移動するであろうと期待できる。

まずわれわれは撮影した2枚のフィルムを、恒星像をわずかにずらして一枚の印画紙上に重ねて焼き付け、小惑星の検出を試みた。結果はだめであった。2枚のフィルムをほんのわずかに平行にずらす作業は慣れないこともありむずかしい。また画面を隅から隅まで丹念に調べねばならず、さらにごみが数多く焼き付けられ判定の障害となる。図1に2枚のフィルムを重ね焼きしたものの一部を示す。

結局、撮影時刻を異にした同一星野の写真から小



図1 2枚のフィルムの重ね焼き(部分)

惑星を能率よく検出するのに、ブリンクコンパレータを使うのが能率的であるとの結論に達した。しかし所内にはブリンクコンパレータはなく、それに代るべきものとして、リモートセンシングで使われているマルチスペクトラル・ビューワーの利用を試みた。マルチスペクトラル・ビューワーは、画像を赤、青、緑等の色スペクトルに分解し、それぞれをモノクロフィルムで撮影するマルチスペクトラル写真法で得られた写真を、再び色フィルターを通し一枚の画像に再生するための装置である。ブリンクコンパレータと同様に装着されたフィルムは、X、Y方向と回転により像の位置を調整できるようになっている。したがって同一星野の天体写真2枚をマルチスペクトラル・ビューワーに装着し、2枚の写真の恒星像を一致させた画像を容易に作ることができる。ここでそれぞれのフィルムに対する光源を交互に点滅させれば、まさにブリンクコンパレータとなる。またそれぞれに異なる色フィルターをかけると時間が色により表現できる。例えば時刻 T_1 のとき撮影し

たフィルムに赤いフィルターを、時刻 T_2 で撮影したフィルムに青いフィルターを付け合成画像を作ると、恒星は赤と青の光の加算されたシアンになり、光度も増す。一方、小惑星は赤と青のペアの2点として判別することができ、同時にそれぞれの時刻も明確に知ることができる。通常、マルチスペクトラル・ビューワーは3枚のフィルムを装着できるようになっている。したがって時刻の異なる3枚のフィルムを一度に処理でき、それぞれのフィルムの撮影時刻を色で識別できる。なおこの方法ではポジのフィルム、すなわち星像が白く抜け、バックの空が黒く写っているフィルムを使う必要がある。

以上述べたようにマルチスペクトラル・ビューワーによる小惑星の検出は、時刻を色に置き替えるところに特徴がある。このため時間の変化を一枚の画像の内に定着することができ、記録性にも優れた方法でもある。

4. 実験

4.1 使用設備

4.1.1 KSCシュミットカメラ

KSCのシュミットカメラ^{3,4)}は科学衛星の光学追跡用に昭和46年鹿児島県内之浦に設置された。設置位置は東経 $131^{\circ}04'$ 、北緯 $31^{\circ}14'$ である。カメラの口径は500mm、口径比1:1.5、焦点距離750mmで、画角が約 $4.2^{\circ} \times 14^{\circ}$ である。使用するフィルムは70mm×1,200 feetのロールフィルムで、 $4.2^{\circ} \times 14^{\circ}$ の天球をフィルム上 60×180 mmに記録する。したがって2章でも述べたようにフィルム上1mmが天球の252"に、また天球の1"がフィルム上3.9ミクロンに相当する。このシュミットカメラは15~16等星までの星を撮影できる。架台は追尾軸、高度軸、方位軸、極軸の4軸をもつ。撮影方法は極軸を時計駆動で、他の3軸を固定する固定法と、追尾軸を衛星の速度に合せ駆動し、他を固定する追尾法の2方法をもつ。極軸の可動範囲は $\pm 3^{\circ}$ 、時間に換算すると24分となる。制御は数値制御方式で、入力指令は紙テープおよびマニュアル、4軸現在値表示が 0.01° でモニタできる。われわれが使用したときは、制御回路の動作が完全でなく、マニュアル指令でのみ使用し、4軸表示値と実際のシュミット

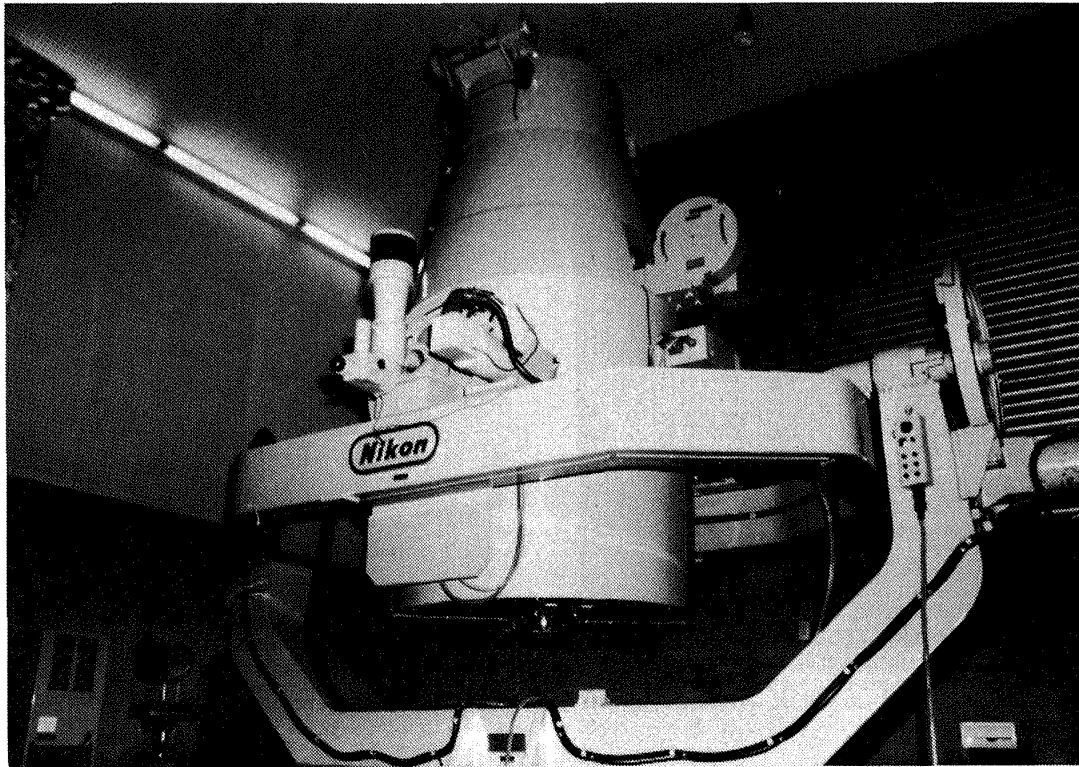


図2 KSCシュミットカメラの外観

カメラの向きとに若干の誤差があったようであるが、実験にはさした影響もなかった。時刻較正はロランCにより行なう。シュミットカメラの外観を図2に、諸元を表1に示す。

4.1.2 マルチスペクトラル・ビューワー

5) 実験に使用したマルチスペクトラル・ビューワーは資源調査所のもので、現在当所に設置されている。このビューワーの使用目的はリモートセンシングでの画像処理である。3枚のモノクロフィルムをマウントし、それぞれのフィルムの画像を色フィルターを通した後一枚の画像に合成し、マルチスペクトル写真法で撮った写真の解析を行なうものである。ビューワーに装置された各フィルムはそれぞれX軸、Y軸±5mm、回転±5°の範囲で移動でき、3枚のフィルムの像位置を一致させることができる。合成は光路合成でオフアクシス方式を採用しており、5倍に拡大されスクリーン上に投影される。装着できるフィルムの大きさは100×100mm、有効画面サイズは60×60mmであり、スクリーンの大きさは300×300mm、解像力7本/mm以上となっている。光源は沃素ランプを使い色温度3,600°K、フィルタ

表1 KSCシュミットカメラ諸元

口 径	500mm
口 径 比	1 : 1.5
焦 点 距 離	750mm
画 角	約 4.2° × 14°
使用フィルム	70mmタイプIパーフォーレーション付
架 台	追尾軸・高度軸・方位軸・極軸の4軸
可 動 範 囲	追尾軸 ±70° 高度軸 ±70° 方位軸 ±200° 極 軸 ±3°

はR(赤)、G(緑)、B(青)の3枚が用意され、フィルタ交換はチャンネル別交換方式となっている。このマルチスペクトラル・ビューワーの外観を図3に、諸元を表2に示す。

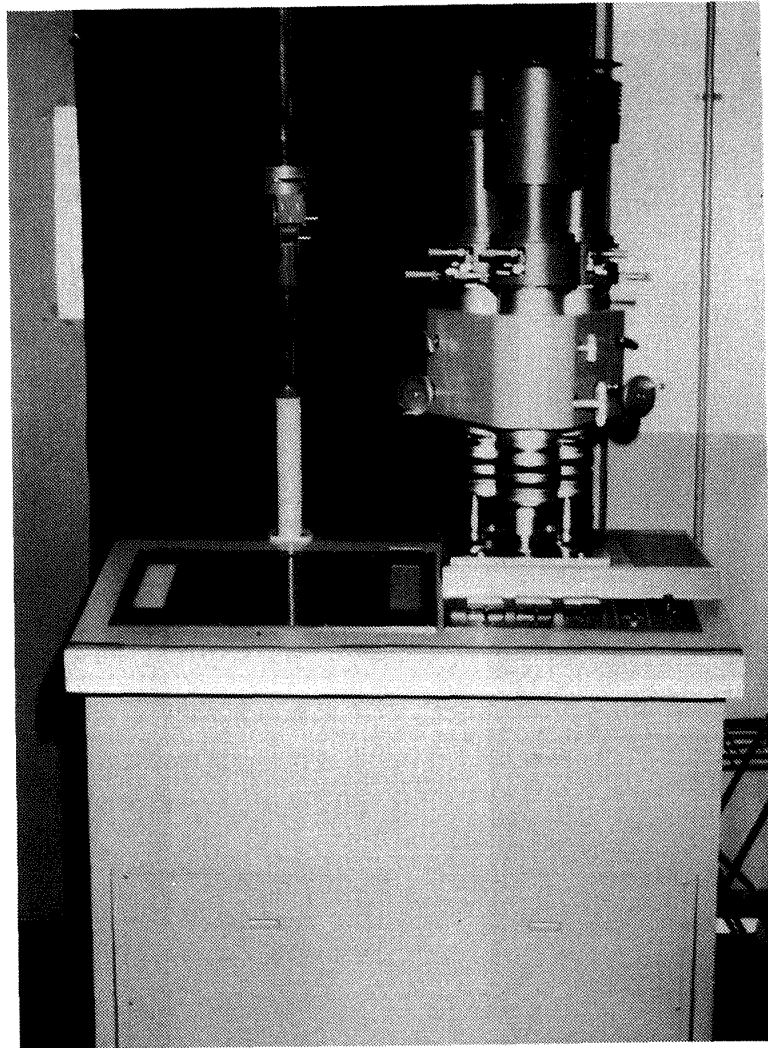


図3 マルチスペクトラル・ビューワーの外観

表2 マルチスペクトラル・ビューワー諸元

チャンネル数	3チャンネル
フィルムサイズ	100 × 100mm以下
有効画面サイズ	60 × 60mm以下
フィルム装着	カセット方式
スクリーンサイズ	300 × 300mm
スクリーン解像力	7本/mm以上
投射レンズ	キャノンP 300mm 1 : 5.6 絞り 5.6 ~ 32
投射倍率	5倍
光路合成	オフアクシス方式
光源	各チャンネルごと沃素ランプ
色温度	3600°K
像位置調整量	X, Y軸それぞれ±5mm θ (回転) ±5° Z (倍率) ±2%
フィルタ交換	チャンネル別交換方式

4.2 小惑星探索の実験

4.2.1 撮影

小惑星は黄道付近に分布している。また小惑星は衝の時、最も明るくなるので、真夜中に撮影するのが望ましい。したがって撮影は新月前後の真夜中と限定される。われわれは、1979年11月と1980年11月の新月前後に観測を行なった。観測時間はUTの12h00m~16h00m (JSTで21h00m~1h00m)で、このときの黄道付近を、露出4分~6分で撮影し、2時間後に再び同じ場所を撮影するというスケジュールで撮影した。撮影したフィルムは、観測終了後直ちに現像を行なった。

図4は撮影したフィルムを焼付けたものである。

4.2.2 ポジフィルムの製作

シュミットカメラで撮影されるフィルムはネガである。マルチスペクトラル・ビューワーで解析を行



図 4 シュニットカメラで撮影した写真

なうためには、このネガフィルムをポジフィルムに反転させる必要がある。反転に際し、画像がひずんだり、暗い星が反転されなかったり、ごみが転写されたりすると困まる。そこで反転の作業は高度の技術をもつ現像業者に依頼し行なうこととした。その結果、満足するポジフィルムを得ることができた。

4.2.3 マルチスペクトラル・ビューワーによる小惑星の検出

同一星野のポジフィルムをマルチスペクトラル・ビューワーに装着する。ビューワーに装着できるフィルムの大きさは $100 \times 100\text{mm}$ で、一方撮影したフィルムの大きさは $60 \times 180\text{mm}$ であるため、フィルムを適当にカットし装着する。装着後、2枚のフィルムの恒星像の位置合せを行なう。また各フィルムを入れたチャンネルに色フィルタをかける。フィルタは赤と青を組合せたときがよい結果が得られる。合成された画像はスクリーン上に投影される。図5はスクリーンに投影された全体の画像である。このスクリーン上で赤と青とのペアになった2点を捜しだす。明かるい小惑星は一目瞭然で判別できる。暗い小惑星の場合は、明かるいものようにはいかない。白っぽく投影されている恒星像の中から、かすかな赤あるいは青い微光を捜す。もし見つかったなら、その付近にペアになるべき星が存在するかどうかを調べる。見つかるほとんどの赤あるいは青の微光はペアの星像をもたない。そのうちの多くは恒星であり、2枚のフィルムに写っている恒星の光度差が大きい場合である。優勢の色の付いているほうの画像を消すと、劣勢の色のほうにも恒星像が存在することが分かる。たぶんこれらの恒星は変光星であろう。またごみの場合もある。

赤と青のペアの2点が見つかったとしても、光度差の違う恒星とごみが原因で一見小惑星のように見える場合もある。これらの原因による判定の誤まりを避けるには、赤と青の画像をそれぞれ交互に独立に投影して確認する必要がある。

1979年11月と1980年11月の観測で得られたフィルムを本方法により調べてみた。その結果17個の小惑星を検出することに成功した。小惑星を検出したフィルムの観測データを表3に示す。図6-1から図6-16は、マルチスペクトラル・ビューワ



図5 マルチスペクトラル・ビューワーにより合成した画像

表3 観測データ

フィルム番号	撮影年月日 (ユリウス日)	撮影時間 (UT)	赤経の中心	赤緯の中心
19-3-2	1979-11-19	14 h07m ~14h12m	3h53m	20° 36'
19-3-3	(2444196.5)	14 14 ~14 19	3 54	16 42
19-3-5		16 07 ~16 12	3 53	20 12
19-3-6		16 14 ~16 19	3 55	16 48
8-1-1		1980-11-8	12 00 ~12 06	1 42
8-1-2	(2444551.5)	12 11.5 ~12 15	1 31	13 40
8-1-3		12 18 ~12 24	1 36	10 10
8-1-4		12 27 ~12 33	1 21	4 20
8-1-6		14 00 ~14 06	1 35	18 50
8-1-7		14 09 ~14 15	1 43	14 40
8-1-8		14 18 ~14 24	1 37	10 20
8-1-10		14 36 ~14 42	1 37	3 10
8-2-1		13 01 ~13 06	3 10	19 50
8-2-2		13 09 ~13 15	3 00	16 20
8-2-5		15 09 ~15 15	3 05	19 00
8-2-6	15 18 ~15 24	3 00	14 40	

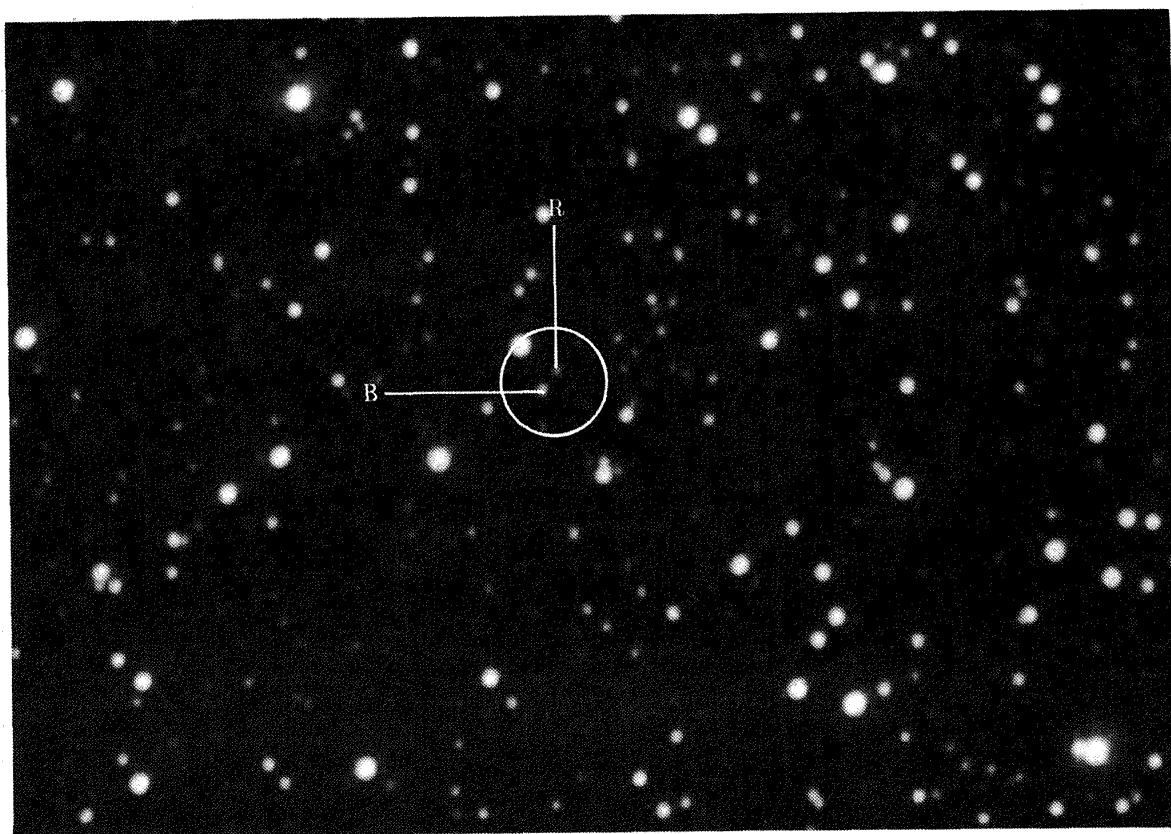


图 6 - 1 小惑星 742

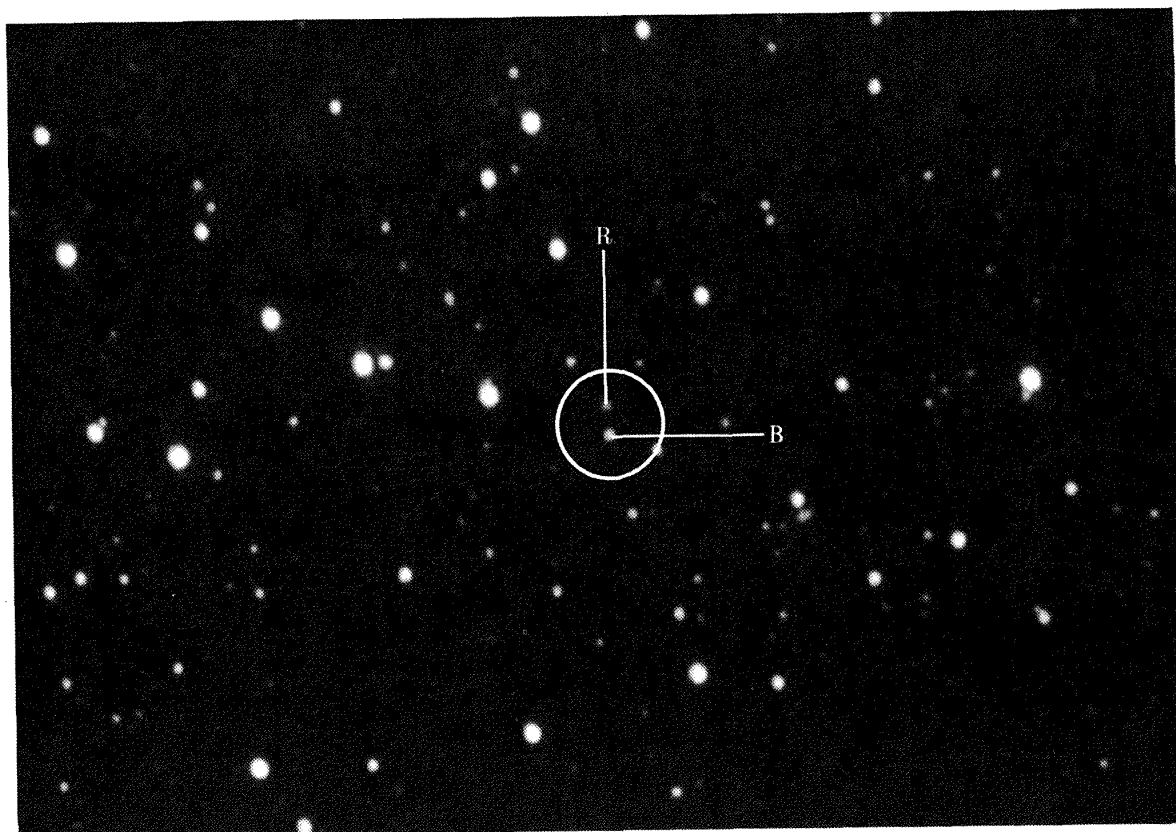


图 6 - 2 小惑星 156

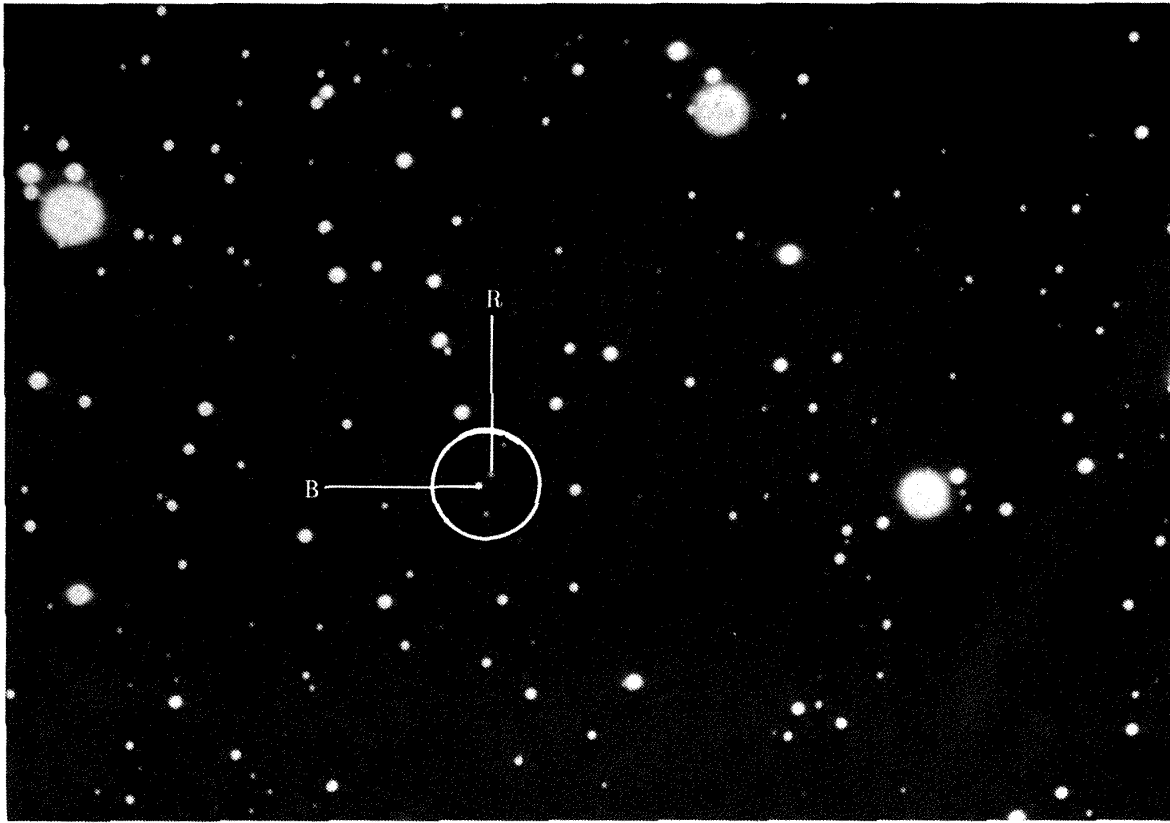


図 6 - 3 小惑星 526

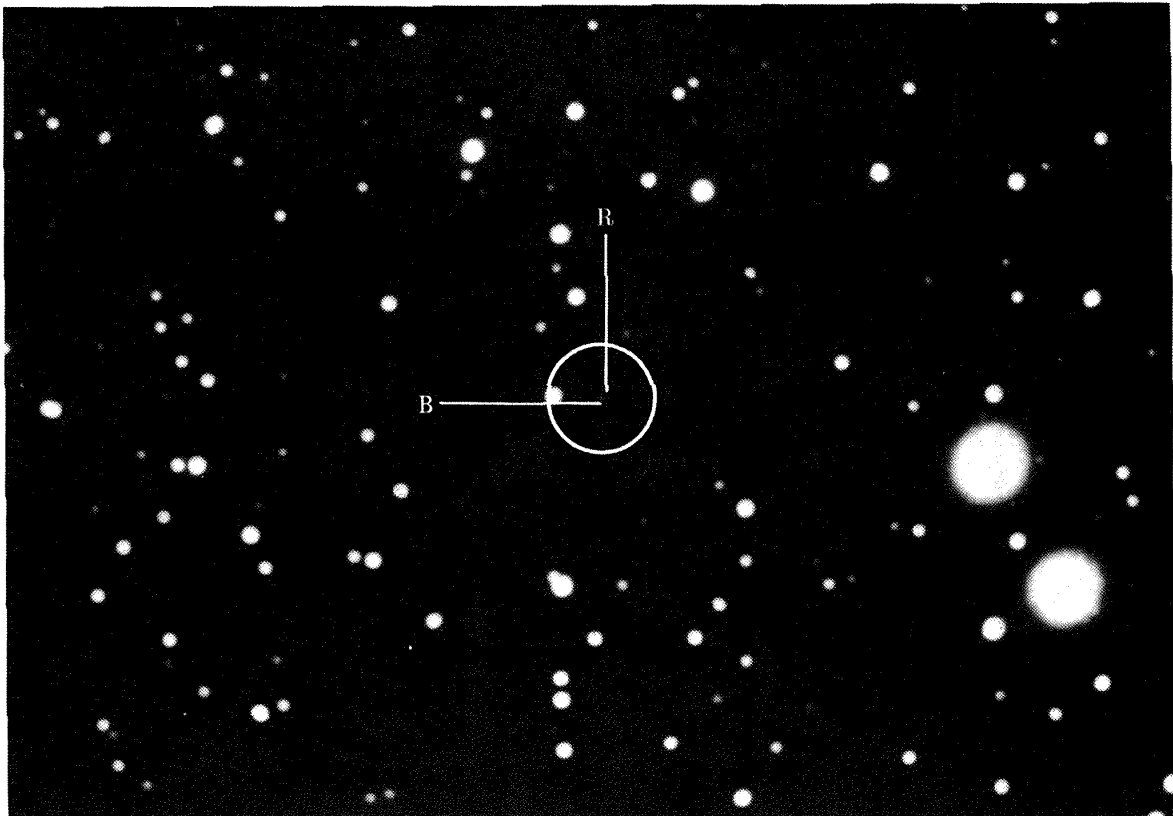


図 6 - 4 小惑星？

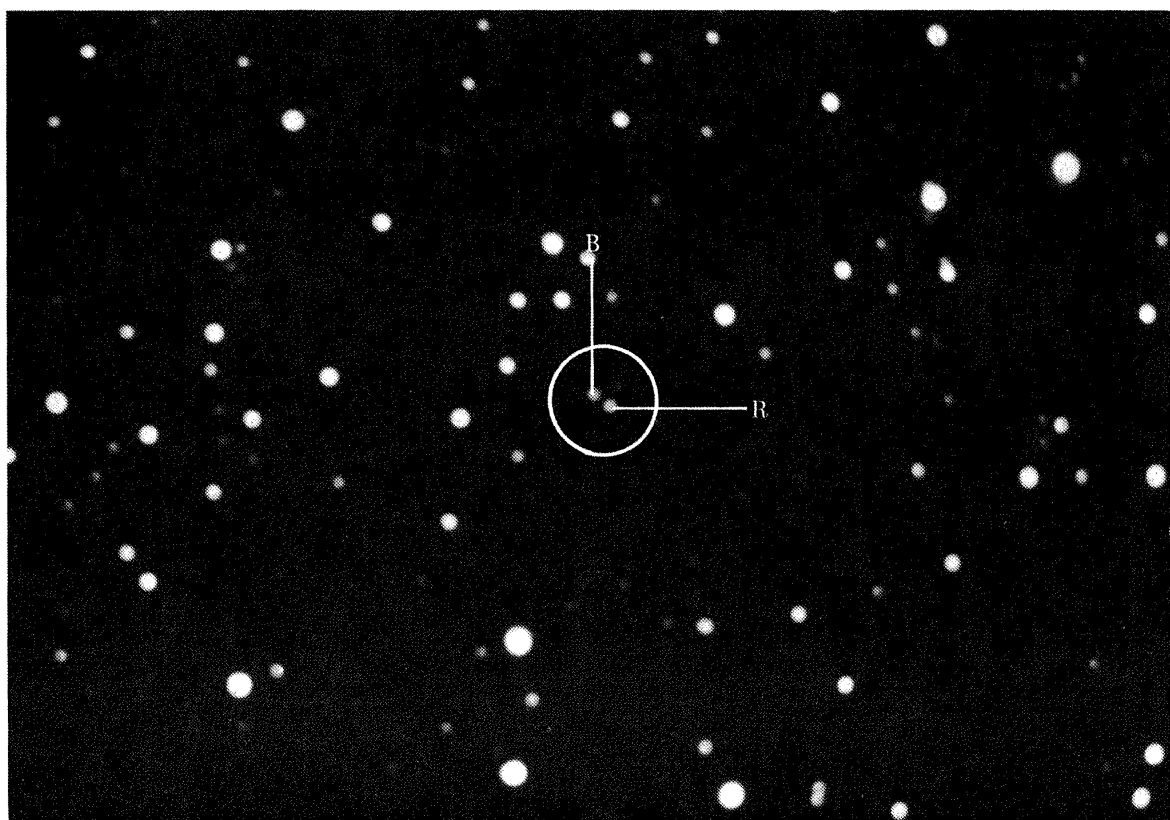


图 6 - 5 小惑星 188

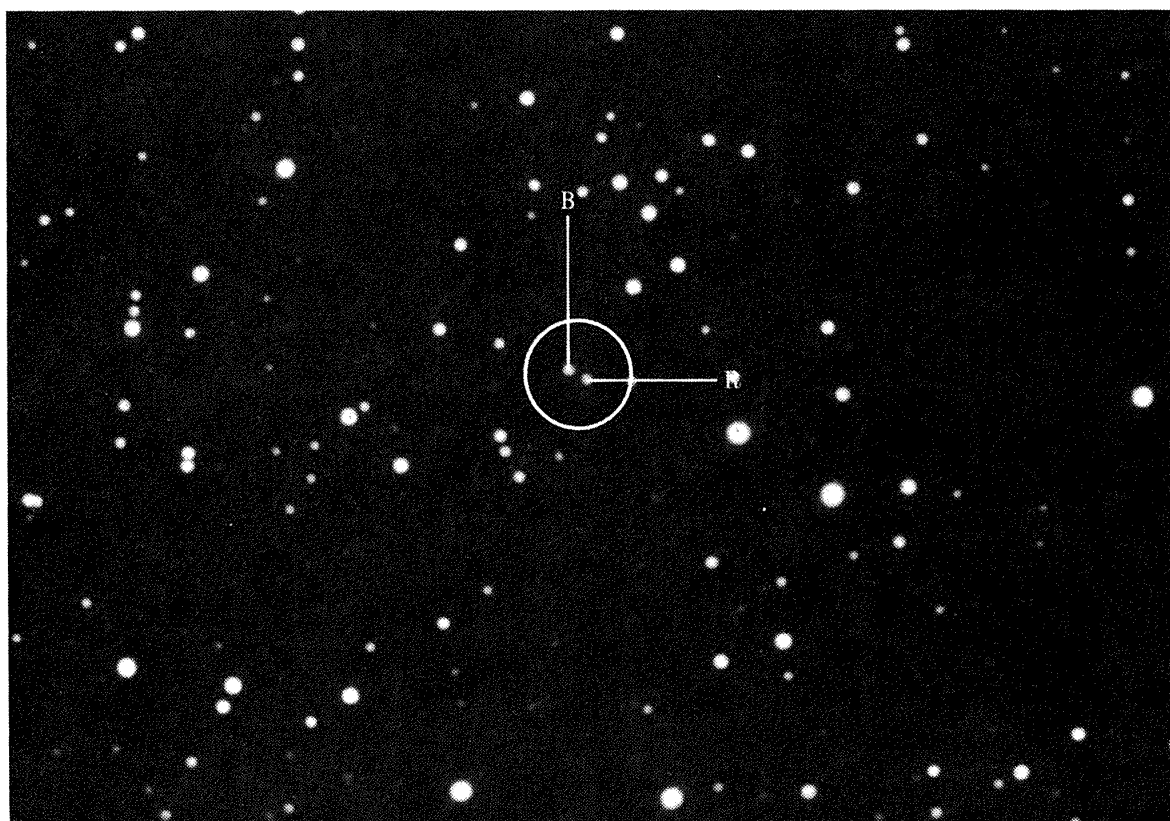


图 6 - 6 小惑星 388 (付图 3 参照)

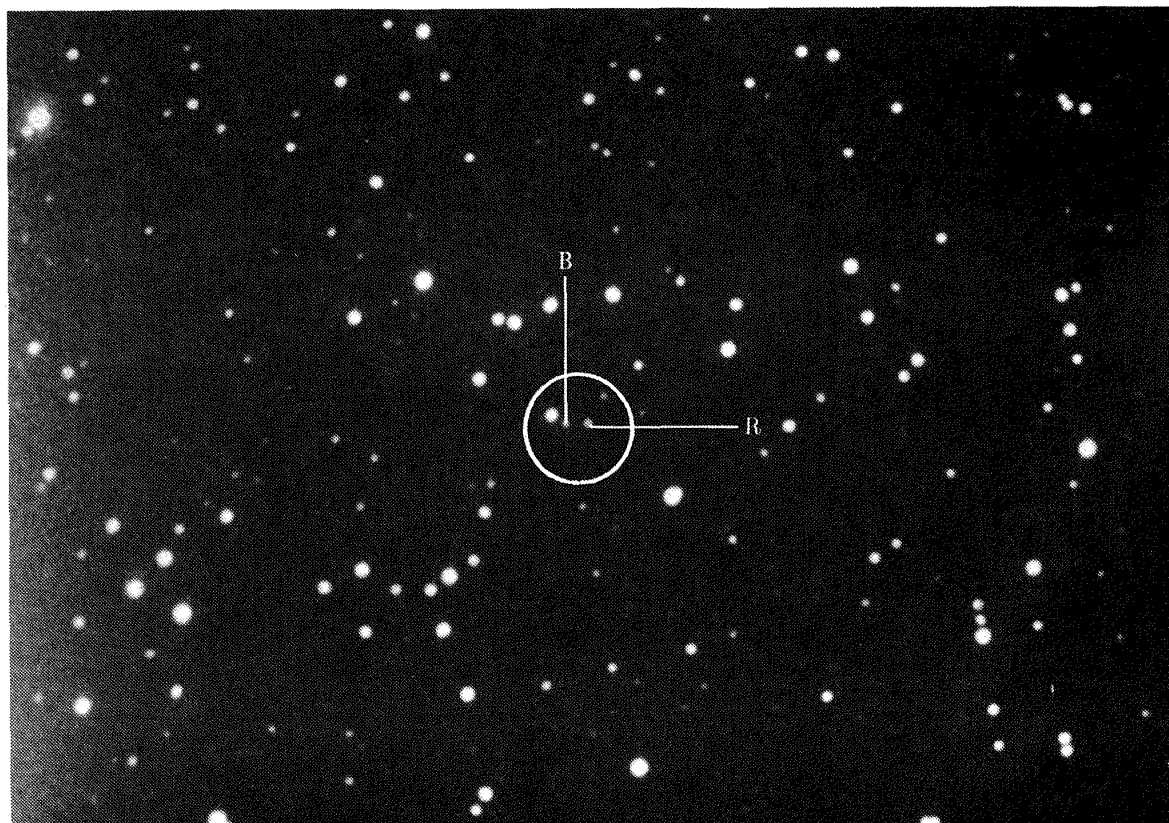


図 6 - 7 小惑星 1946

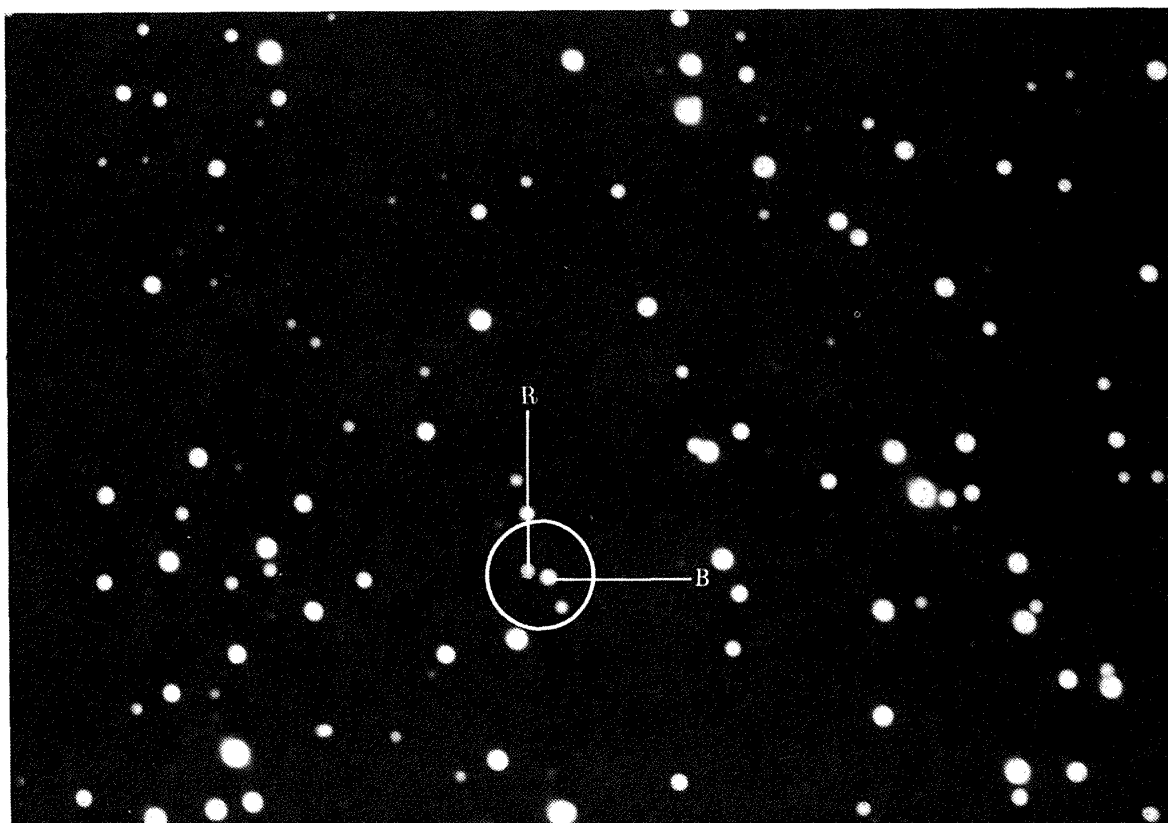


図 6 - 8 小惑星 336 (付図 4 参照)

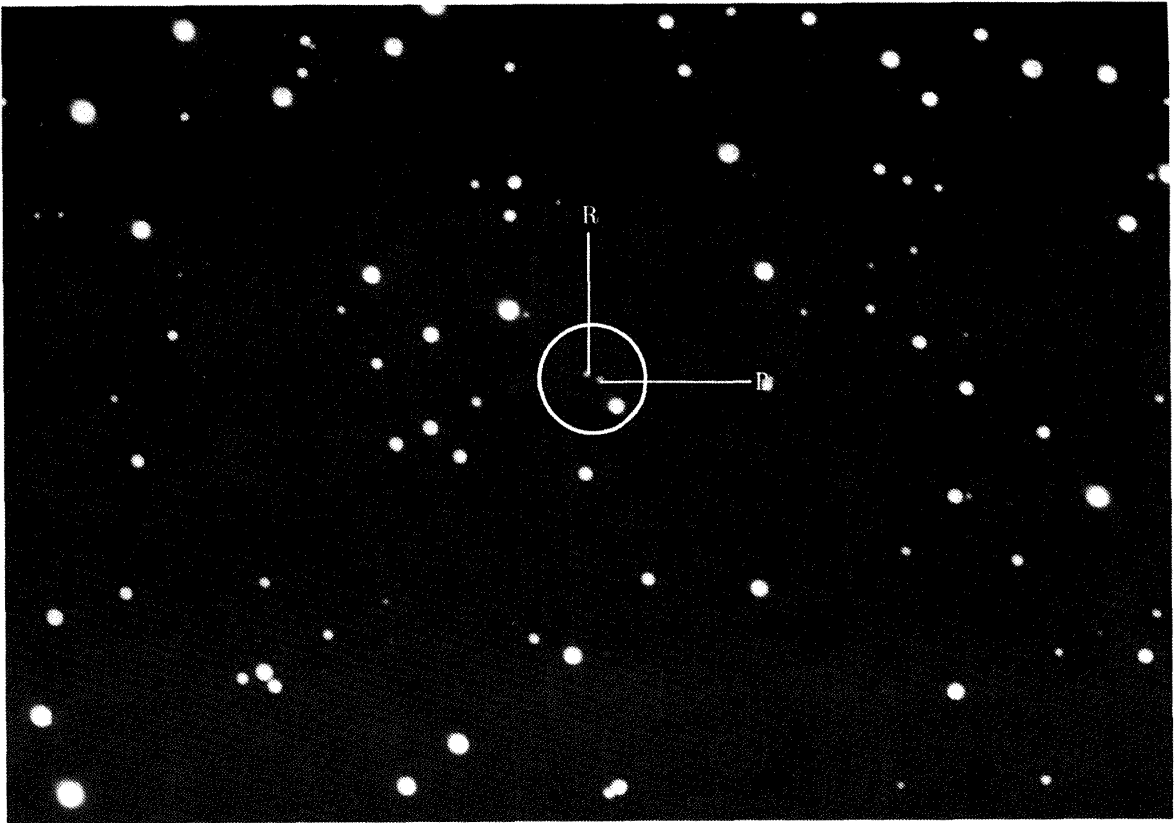


图 6 - 9 小惑星 1203

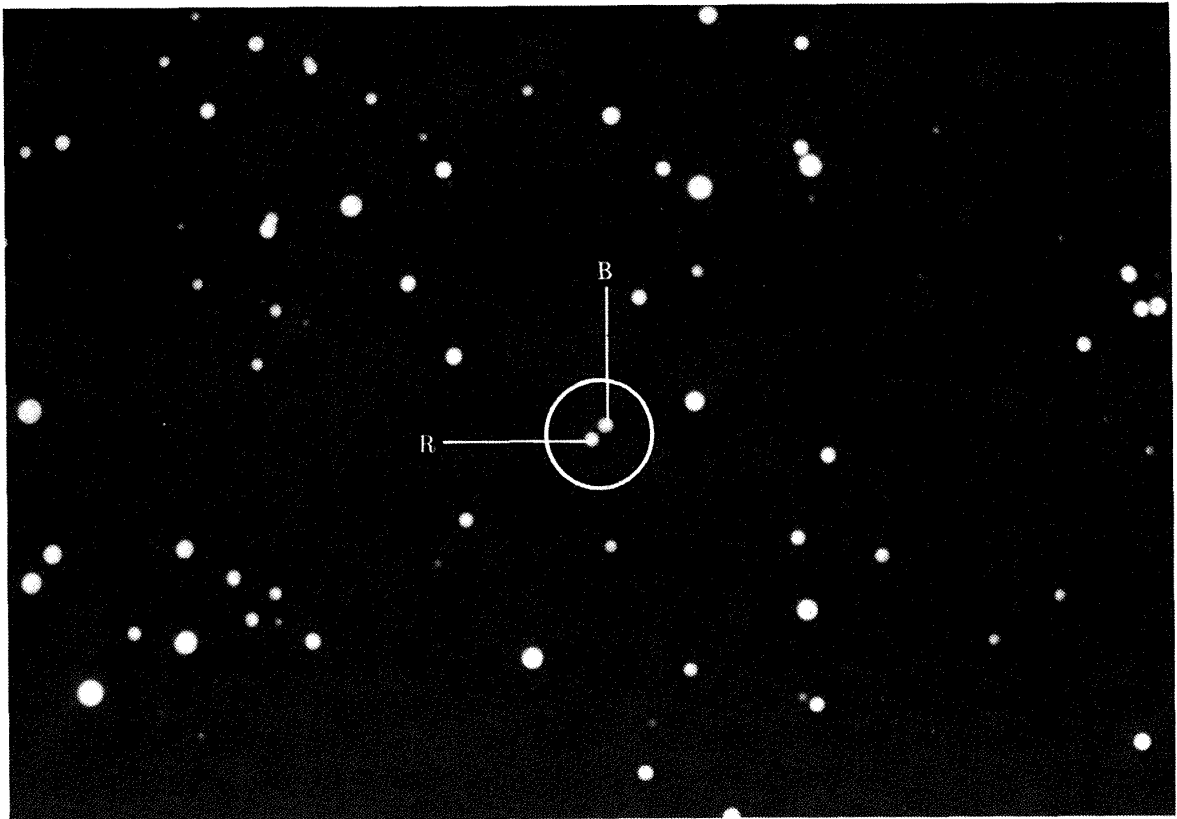


图 6 - 10 小惑星 104

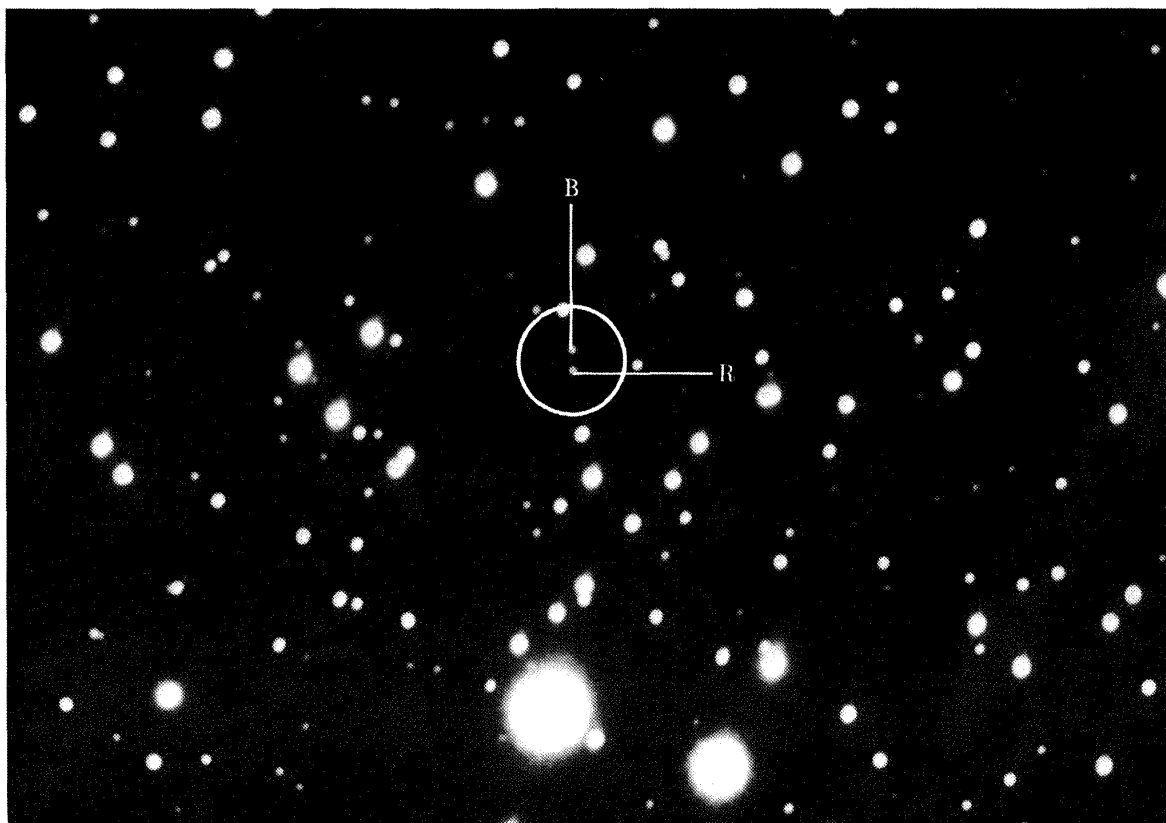


図 6 - 11 小惑星 320

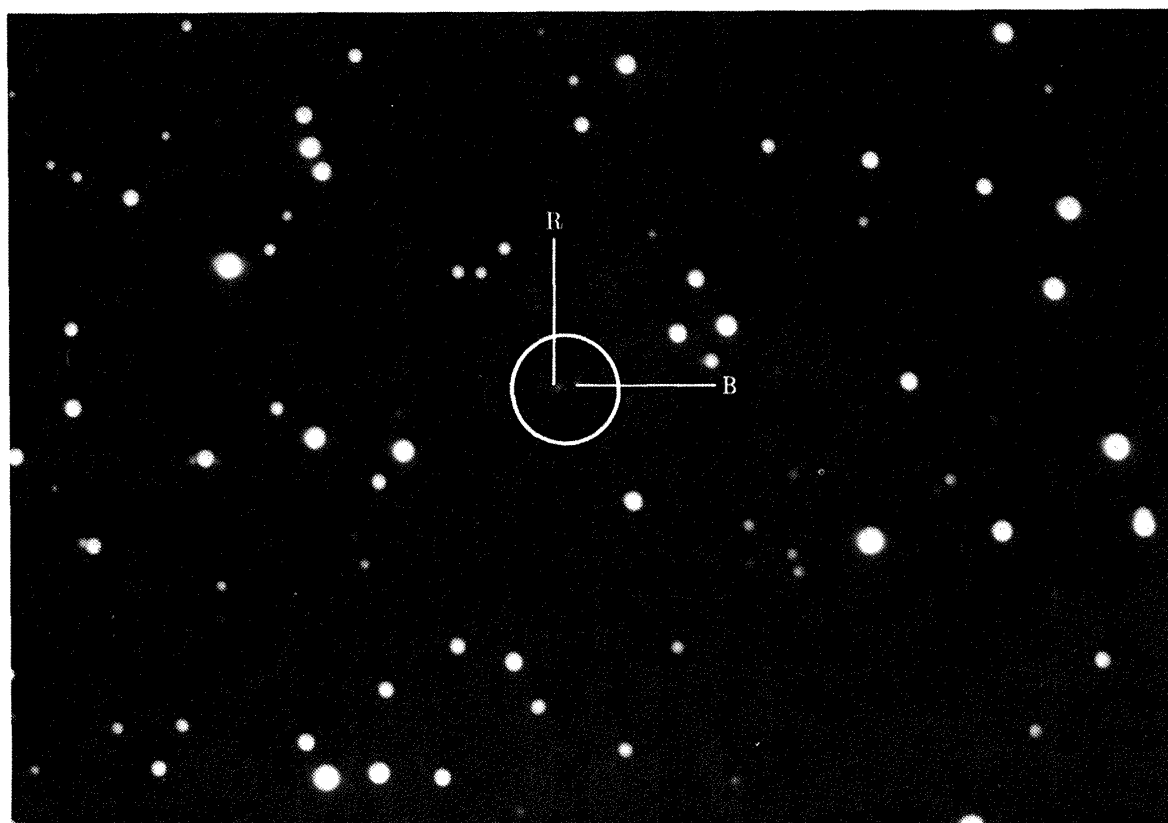


図 6 - 12 小惑星 904

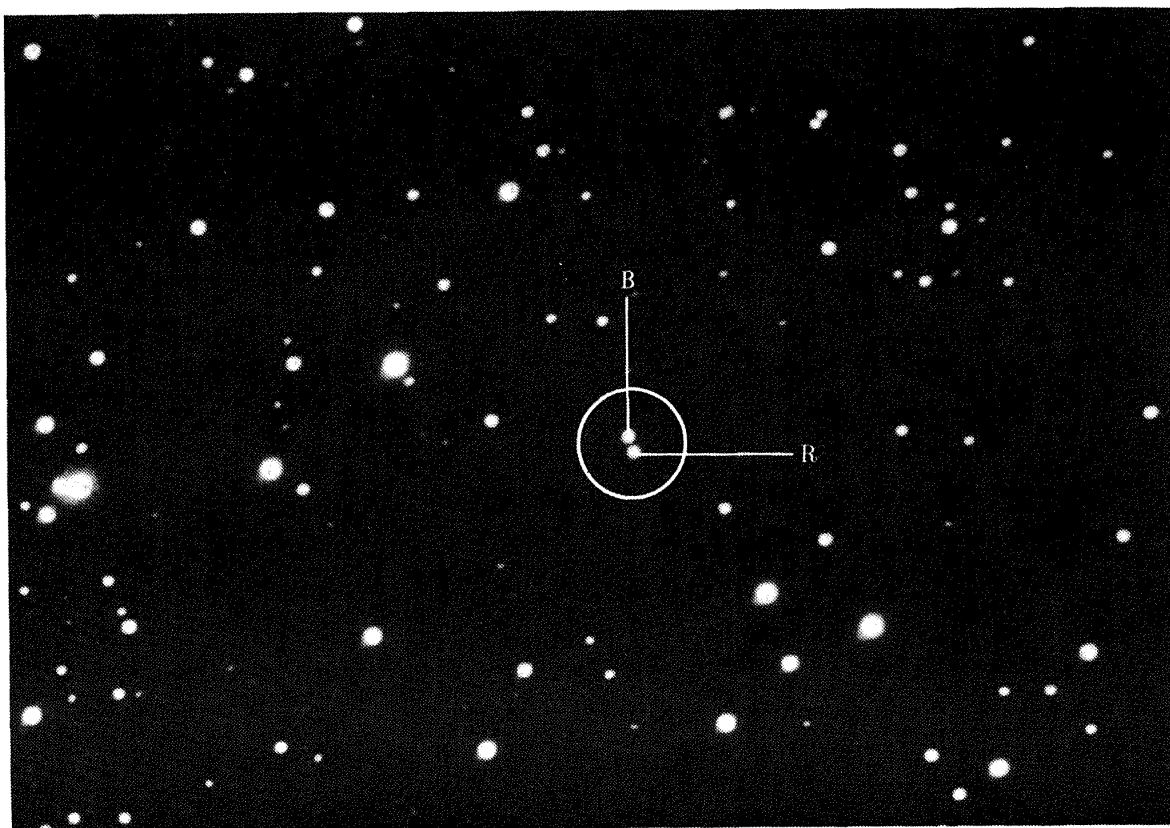


図 6 - 13 小惑星 240 (付図 5 参照)

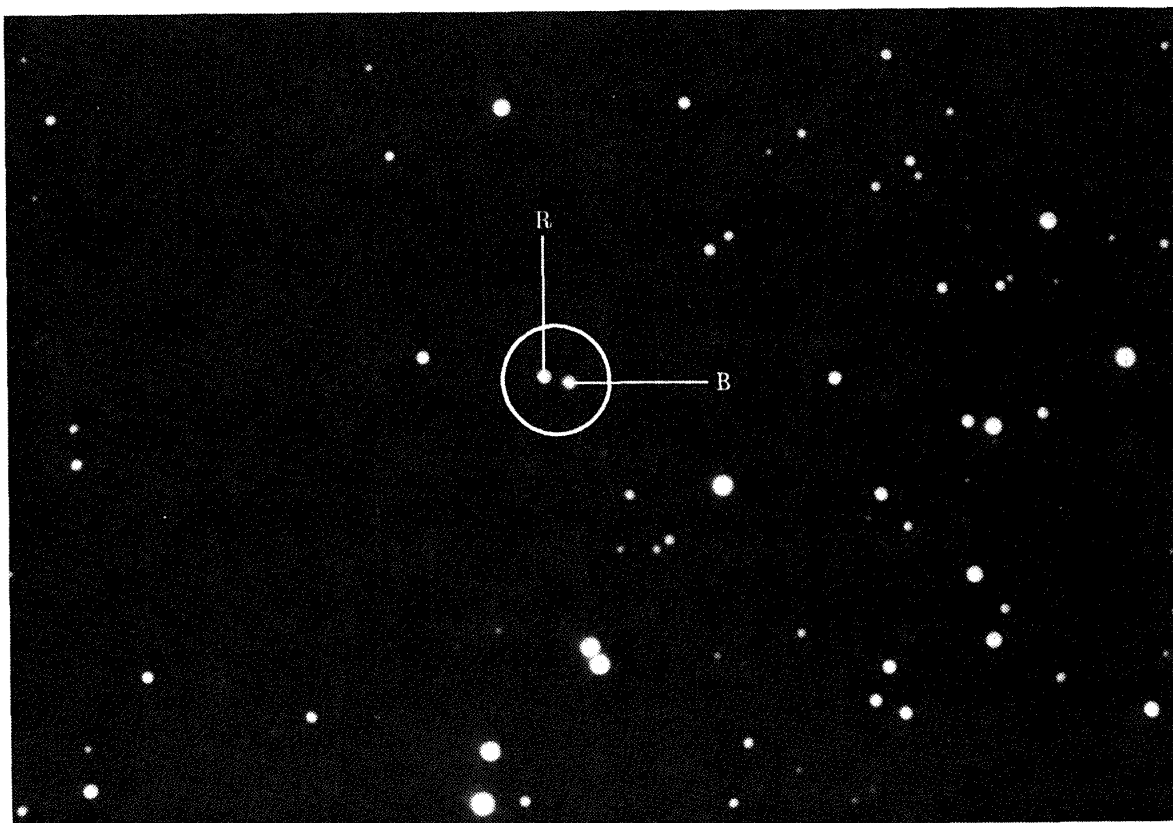


図 6 - 14 小惑星 478

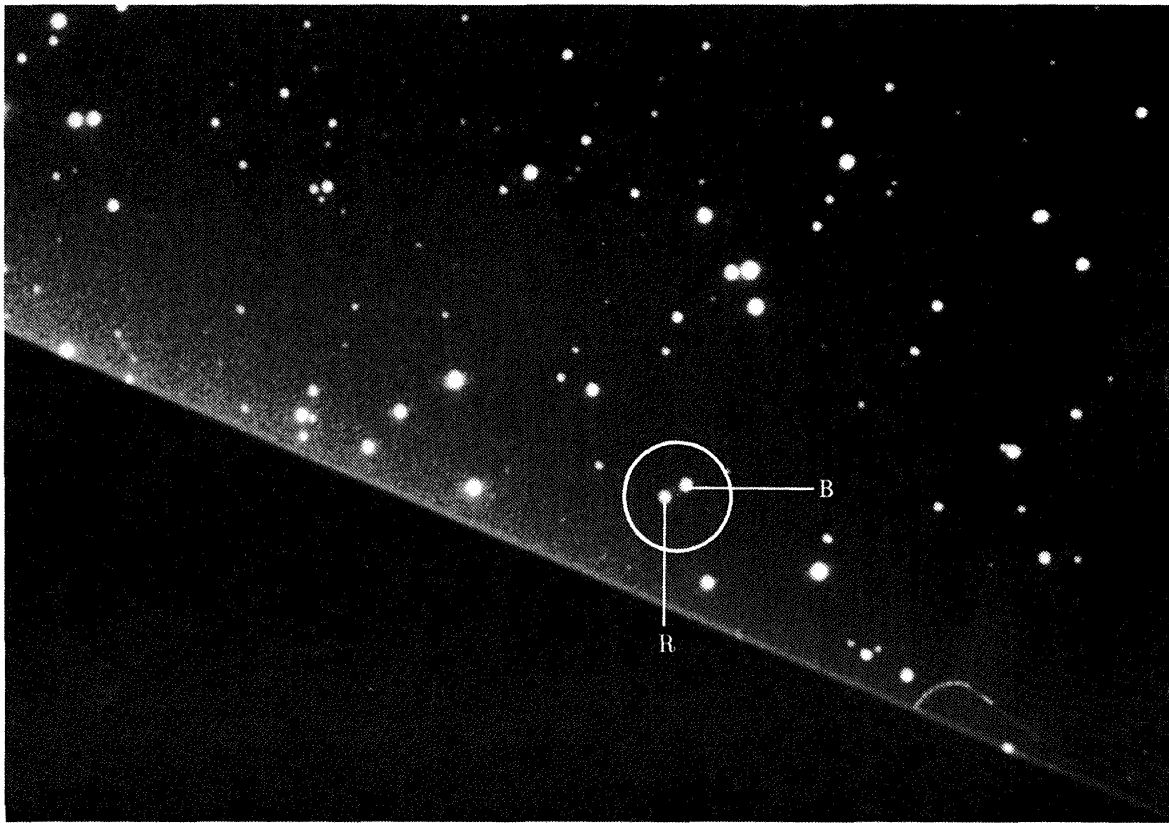


図 6 - 15 小惑星 233

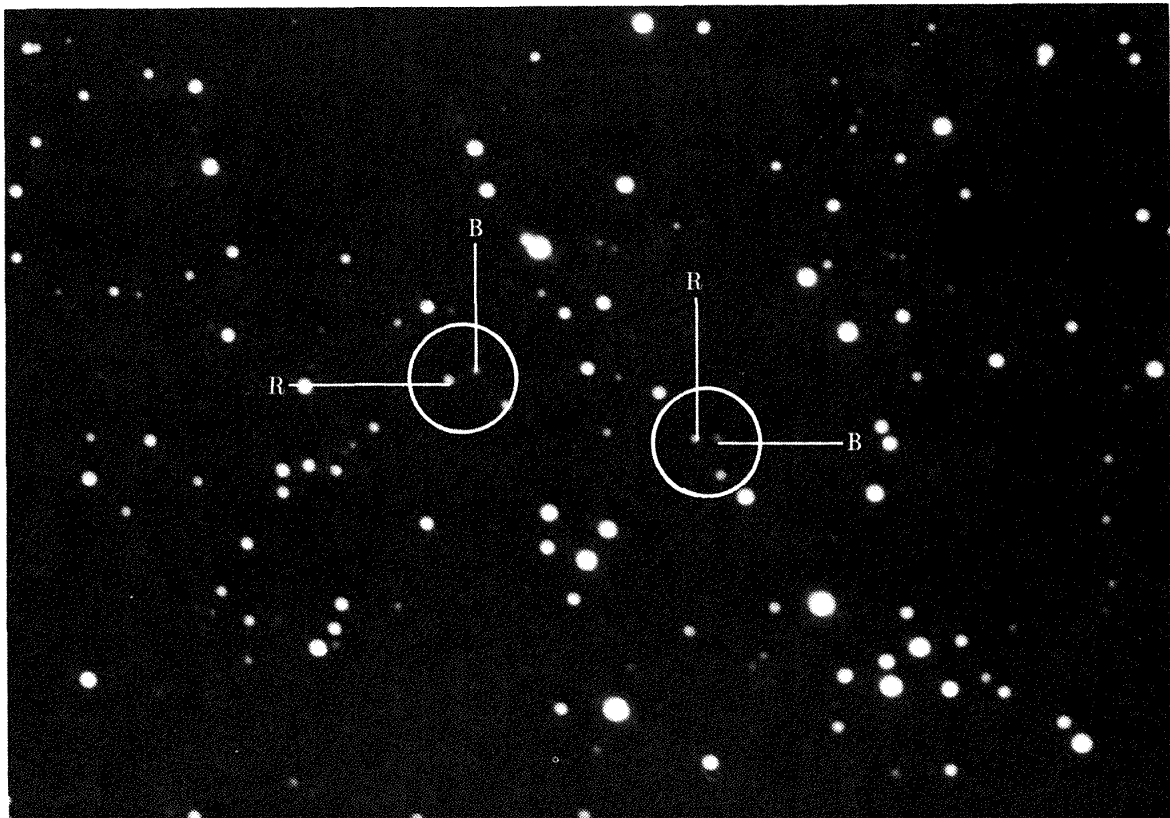


図 6 - 16 小惑星 1223 (左), 小惑星 292 (右)

ーにより投影された小惑星の画像である(図6ではモノクロ写真のため、小惑星の部分を白マルで囲い赤をR、青をBの記号で示してある。実際にどのように見えるかを示すため、付録3に図6-6, 6-8, 6-13の3枚をカラーで示した。)検出された小惑星のリストを表4に示す。また表5にソ連から発表されている小惑星のエフェメリス⁶⁾を参考のため示す。表4の番号4の小惑星は文献6に載っていない。未確認の小惑星であることが期待できる。なおマルチスペクトラル・ビューワーへ装着できるフィルムの大きさと撮影フィルムの大きさが違うため、実際には撮影フィルムの約3分の2の範囲しか調査できなかった。

今回の実験では、小惑星の移動距離は投影スクリーン上で1~2mmであった。時間間隔は2時間であるから単純計算で、スクリーン上の移動量は毎分8~17ミクロンとなる。小惑星の大きさは約0.3mm

ぐらいに投影されており、仮に小惑星の大きさの2倍の移動量があれば確認できるとすると、スクリーン上0.6mm移動すればよいことになる。これは時間にして75分以上ということになる。すなわちマルチスペクトラル・ビューワーを使用すれば、最低75分の時間間隔で同一星野を撮影すればよいことになる。逆にあまり時間間隔を長くすると、赤と青のペアの距離が離れすぎ、小惑星であるかごみであるかの判別がむずかしくなる。

本実験で使用したマルチスペクトラル・ビューワーは3チャンネルもっているので、3枚までのフィルムからの画像を合成できる。したがって、適当な時間間隔で3回同一星野を観測したフィルムを使い、フィルタを赤、青、緑の3色を用いれば、小惑星は赤、青、緑の3点の軌跡をスクリーン上に投影する。このようにすれば、より正確に小惑星の検出ができるであろう。

表4 検出した小惑星

番号	小惑星番号	フィルム番号 (フィルター赤)	フィルム番号 (フィルター青)	おおよその位置		図番
				赤 経	赤 緯	
1	742	19-3-2	19-3-5	4h02m	19° 20'	6-1
2	156	"	"	4 15	21 06	6-2
3	526	19-3-3	19-3-6	3 30	15 47	6-3
4		8-1-1	8-1-6	1 25	18 55	6-4
5	188	"	"	1 41	19 00	6-5
6	388	"	"	1 53.5	18 45	6-6
7	1946	"	"	1 51	18 35	6-7
8	336	8-1-2	8-1-7	1 25.5	12 40	6-8
9	1203	8-1-3	8-1-8	1 11	10 05	6-9
10	104	"	"	1 42	9 40	6-10
11	320	"	"	1 34	11 50	6-11
12	904	8-1-4	8-1-10	1 21.5	4 00	6-12
13	240	"	"	1 16	3 55	6-13
14	478	8-2-1	8-2-5	2 52	19 30	6-14
15	233	"	"	3 33	17 05	6-15
16	1223	8-2-2	8-2-6	2 37.5	15 40	6-16
17	292	"	"	2 38	15 43	6-16

表5 小惑星のエフェメリス

(文献6よう転写)

年	月 日	α_{1950}	δ_{1950}
742 Edisona $14.^m_2$			
1979	XI 13	$4^h 07.^m_4$	$19^\circ 15'$
	23	3 57.9	19 24
156 Xantippe $13.^m_9$			
1979	XI 13	4 20.2	21 30
	23	4 11.3	20 46
526 Jepa $14.^m_9$			
1979	XI 13	3 34.9	16 02
	23	3 26.4	15 32
1203 Nanna $15.^m_3$			
1980	XI 7	1 11.4	10 18
	17	1 08.4	9 14
240 Vanadis $11.^m_8$			
1980	XI 7	1 16.2	4 02
	17	1 11.6	3 47
904 Rockefelleria $15.^m_1$			
1980	XI 7	1 22.1	4 06
	17	1 17.3	2 57
336 Lacadiera $13.^m_5$			
1980	XI 7	1 25.6	12 49
	17	1 19.2	11 37
320 Katharina $15.^m_0$			
1980	XI 7	1 34.5	11 51
	17	1 29.3	10 40

年	月 日	α_{1950}	δ_{1950}
104 Klymene $12.^m_9$			
1980	XI 7	$1^h 43.^m_3$	$9^\circ 59'$
	17	1 32.4	9 21
188 Menippe $13.^m_6$			
1980	XI 7	1 43.2	19 14
	17	1 37.1	17 42
1946 1931 PH $14.^m_9$			
1980	XI 7	1 52.2	18 32
	17	1 43.9	18 38
388 Charybdis $13.^m_1$			
1980	XI 7	1 55.0	18 47
	17	1 47.6	18 13
1223 Neckar $15.^m_1$			
1980	XI 7	2 39.6	15 43
	17	2 31.0	15 12
292 Ludovica $13.^m_9$			
1980	XI 7	2 40.8	15 42
	17	2 29.6	15 56
478 Tergeste $12.^m_6$			
1980	XI 7	2 53.6	19 29
	17	2 45.6	18 10
233 Asterope $12.^m_6$			
1980	XI 7	3 34.4	17 10
	17	3 25.4	16 04

検出された小惑星は、スター・カタログにその位置が知られている周囲の恒星との相対位置を計り、天球上の位置を決定することになる。

5. はん用マルチスペクトラル・ビューワーへの要請

マルチスペクトラル・ビューワーは画像の合成による画像解析装置であるが、小惑星の検出にも利用できることが分かった。しかし、マルチスペクトラル・ビューワーは、小惑星検出に都合のよいようにはできていない。今回の実験を行ない感じたいいくつかの改良点を記し、よりはん用性のある画像処理装置としてのマルチスペクトラル・ビューワーへの要請とする。

1) 装着できるフィルムの大きさを 20×20 cm 以上のものまで大きくする。有効画面の大きさは 60×60 mm でよい。フィルムを装着した台は可動ステージとし、平行移動、回転移動がマニュアルおよびコンピュータにより制御できるようにする。

2) チャネル数を 3 から 4 に増す。ふえたチャネルは標準パターン、校正パターン等用とし、画像解析のインデックス・チャネルとして利用する。

3) 各チャネルにシャッターを取り付け、マニュアルおよびコンピュータ制御で開閉できるようにする。

4) 投影スクリーン上にカーソルを取り付け、スクリーン上の任意の点の座標をマイクロンの単位で読み取れるようにする。読み取ったデータはコンピュータに入力できるようにする。

5) 投影スクリーン上の画像情報をコンピュータに入力できるようなセンサを設ける。

以上のような機能を追加すると、マルチスペクトラル・ビューワーはコンピュータの画像入力装置としての役割も果し、より有用な装置となる。

このような装置を使っての小惑星検出は、次のような手順で行なわれるであろう。

1) 異なった時刻に撮影した同一星野の 2 枚あるいは 3 枚のフィルムを装置に装着する。また同じ星野の星図（撮影した星野と同縮尺のもの）を別のチャネルにセットする。

2) 各チャネルからの画像が一致するように位置調整をする。

3) 小惑星を検出する。

4) 見つけた小惑星の周囲にある恒星で位置の分かっているものを星図により探し出し、カーソルによりそれらの恒星のスクリーン上の位置をコンピュータに入力する。

5) 各時間の小惑星のスクリーン上の位置を順次コンピュータに入力する。

6) コンピュータ中のプログラムによりスクリーン上の座標系と天球上の座標系の変換を行ない、各時刻の小惑星の天球上での座標を求める。また異なる 3 つの時刻のデータがあれば、小惑星の軌道も決定できる。

以上の操作は一つの小惑星について 10 分もあれば終了するであろう。この方法での処理は、小惑星に限らず人工衛星のトラッキングにも利用できる。

この方法を進めて、必要な恒星のデータ（9 等星程度までの恒星の位置、光度、固有運動など）をあらかじめコンピュータに入力しておいて、次のような自動的処理を考えることができる。

1) ~ 3) までのプロセスは同じであるが、この場合には同じ星野の星図は必要としない。

4) 見つけた小惑星の周囲にあるいくつかの恒星のパターンが検出され、すでにストアされている恒星のデータを用いて、コンピュータは天球上での位置を判断し、小惑星の位置を自動的に測定する。

5) ~ 6) のプロセスはやはり前と同じである。この 4) の作業は、スターマッピングによる宇宙船の航法にとって基本的な技術である。いま、小惑星の検出は 2 枚あるいは 3 枚の撮影時刻を異にした同じ星野写真の中で、位置を変えている天体（2 つ以上の写真で同じ位置にうつっていない）を見つけることであるが、このプロセスも画像情報の処理技術を用いて、自動化することが可能である。したがって、フィルムの装着以外はすべて画像センサとコンピュータによる自動処理を行い、検出した小惑星の位置や軌道を出力させる装置を作ることは技術的に可能と考えられる。しかも、この技術は宇宙船のオートノーマスな航法システムに十分に応用できるであろう。

6. まとめ

時刻を異にした同一星野の天体写真から小惑星を

検出する方法について考察した。その結果、次のような結果を得た。

1) 時刻の異なる2枚のフィルムをマルチスペクトラル・ビューワーにかけ、それぞれ違った色のフィルタを通し、一枚の画像に合成すると恒星は2つの色の加算された明かるい色になるが、小惑星はそれぞれのフィルタと同じ色の2つのペアとして観測され、容易に恒星と小惑星の判別ができる。

2) マルチスペクトラル・ビューワーをコンピュータと結合させ、より広い用途で使用可能な画像処理装置とすることを提案した。また改良されたマルチスペクトラル・ビューワーを使用する小惑星検出の手順を示した。

今回は2枚の写真から小惑星の検出を試みたが、今後機会があれば、3枚の写真による実験と人工衛星のトラッキングへの応用を行なってみたいと思っている。さらに5節で述べたような、スターマッピングによる、宇宙船のオートノーマスな航法システムへの発展も考えている。

最後にKSCのシュミットカメラの使用を快く許可して下さった東京大学宇宙航空研究所の関係者の方々、特にシュミットカメラの操作法等を指導下さり、いっしょに観測して下さった栄楽正光技官に感謝の意を表わす。またマルチスペクトラル・ビューワーの使用に際しては、資源調査所、本所併任の森園繁光技官にお世話になった。お礼申し上げます。

文 献

- 1) 松島弘一, 磯部俊夫; 小惑星探査ミッション, 日本航空宇宙学会誌, 26巻288号(1978年1月).
- 2) 松島弘一; 地球に接近する小惑星へのFly-by Mission, 第23回宇宙科学技術連合会講演会講演集, p.52~55, 1979.
- 3) 日本光学工業(株); Nikon 科学衛星光学トラッキング装置説明書
- 4) 富田弘一郎; 内の浦の科学衛星光学追跡装置, 天文月報, 65巻8号(1972), p.207-209.
- 5) キヤノン(株); キヤノン マルチスペクトラル・ビューワー MSV-300 取扱説明書
- 6) Institute of Theoretical Astronomy (USSR); Ephemerides of Minor Planets for 1979および for 1980.

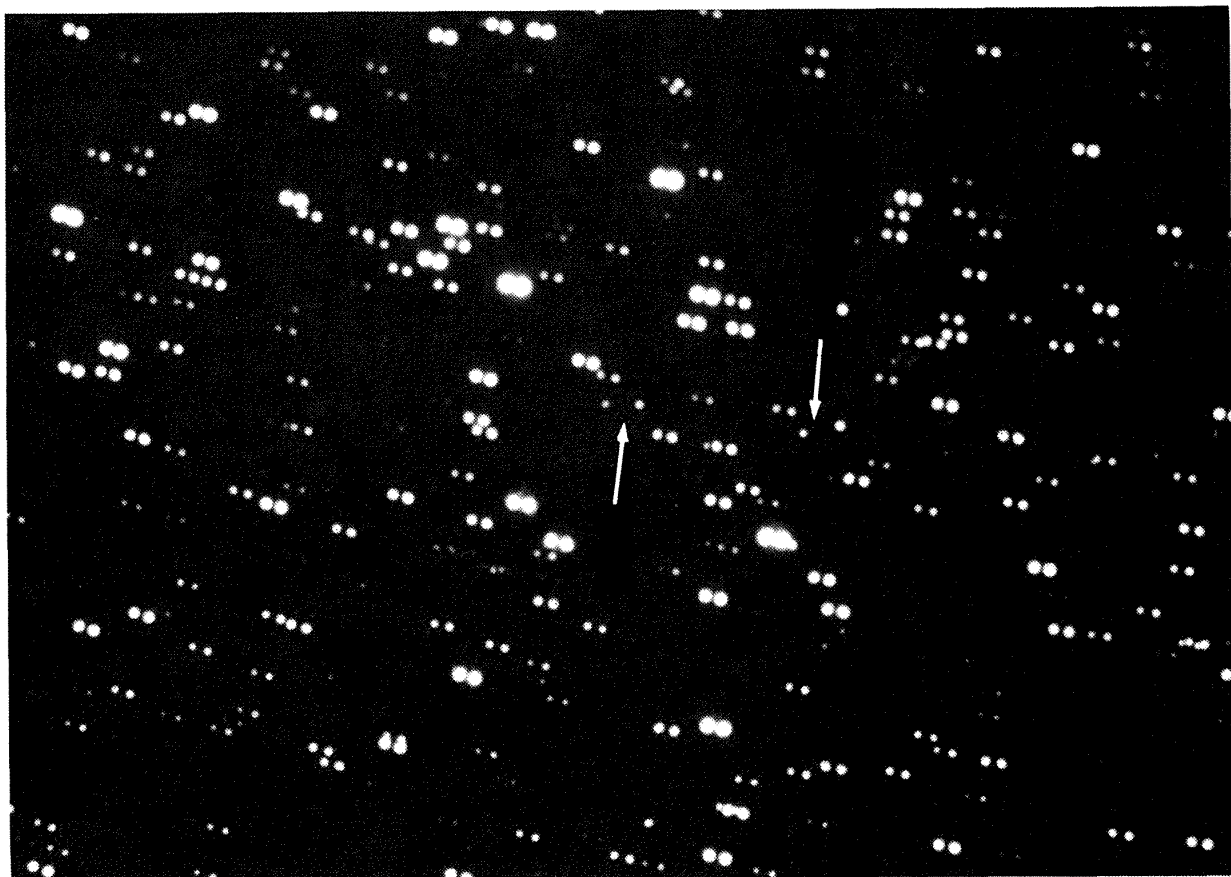
付録 1

マルチスペクトラル・ビューワーを使うと、簡単に二重露出あるいは2枚の写真を二重焼付けして得られる画像を作ることができる。付図1はこのようにして作ったものである。図6-16で使った2枚のフィルムより合成した。矢印で小惑星を示している。周囲の恒星のペアのずれの方向と異なっているのが分かる。

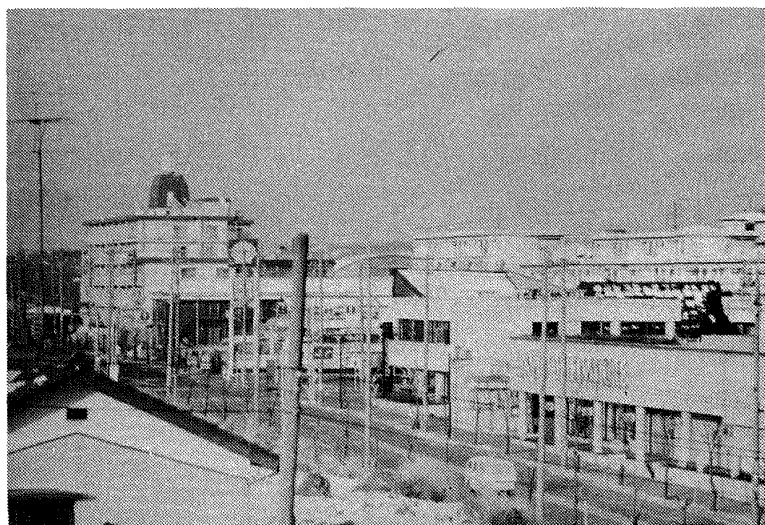
付録 2

マルチスペクトラル・ビューワーによる小惑星の検出は、2枚の画像の差異を色に置き替えるのがポイントである。天体写真の場合、画像は多数の点で

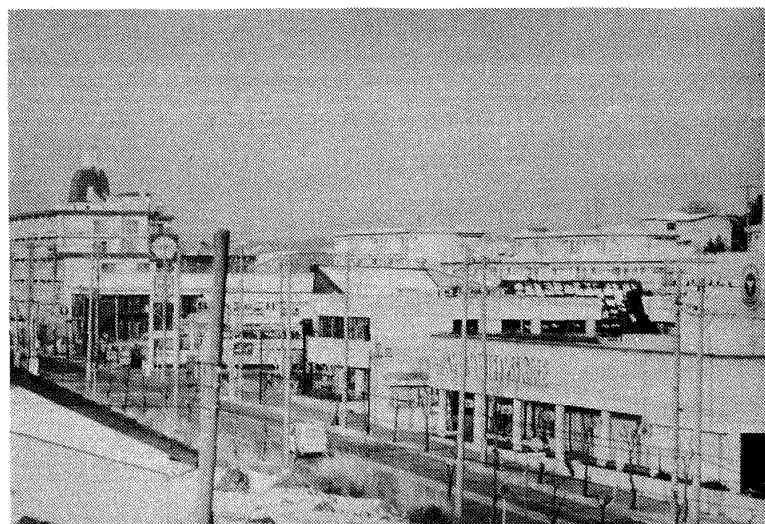
構成されたものである。それでは一般の画像に対して、マルチスペクトラル・ビューワーは移動している物件をうまく分離してくれるだろうか。試みの実験を行なってみた。付図2は市街地の風景を数秒の間をおいて撮影した3枚の写真である。この3枚の写真のネガから簡易スライド製作器によりポジフィルムを作り、それぞれに赤、青、緑のフィルターをかけマルチスペクトラル・ビューワーにより合成画像を作ってみる。付録3付図6は投影された合成画像である。時間の経過は赤、青、緑の順である。バックが天体写真のように真黒でないため、天体写真のように明確ではないが、それでも自動車が移動しているのが分かる。



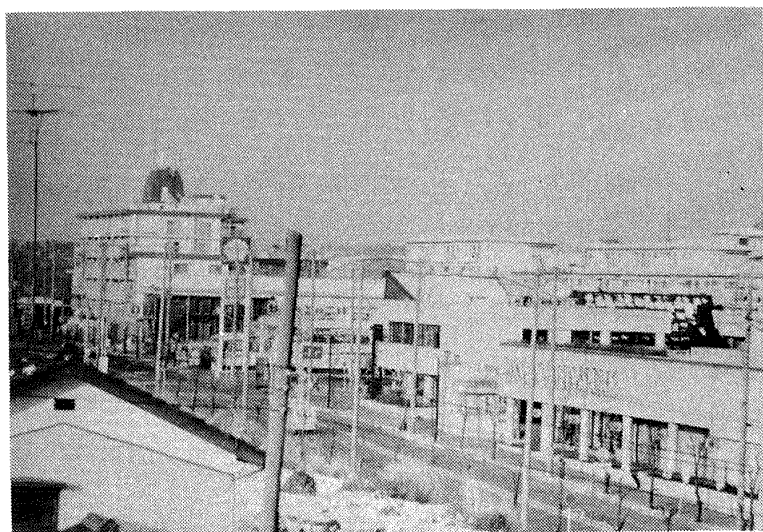
付図1 マルチスペクトラル・ビューワーによる二重露出画像
矢印左が小惑星 1223, 右が小惑星 292



(1)



(2)



(3)

付図2 数秒間隔で撮影した3枚の写真



付図 3. 図 6-6 のカラー写真



付図 4. 図 6-8 のカラー写真



付図 5. 図 6-13 のカラー写真



付図 6. 付図 2の 3 枚の写真をマルチスペクトラル・ビューワーで合成した画像

航空宇宙技術研究所資料439号

昭和56年7月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182

印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川2-27-12
