

# HOU (Hands On Universe)を用いた教育と卒業研究

西村 治\*・中条里美\*\*・西澤若尾\*\*

## Education and Graduation research using HOU (Hands On Universe)

Osamu NISHIMURA, Satomi NAKAJYOU, Wakao and NISHIZAWA

キーワード：卒業研究，理科教育，天文教育

### 1. ま え が き

#### (1) Hands-On Universe のあらまし

過去5年間，全米科学財団(National Science Foundation)，米国国防省(US Department of Defense)，米国エネルギー省(US Department of Energy)の支援のもと，Hands-On Universe(略称HOU)では，高等学校の生徒を対象とした教育プログラムを開発，指導してきました。このプログラムは，参加生徒が専門の研究機関に観測を依頼できること，教室のコンピュータにCCD画像をダウンロードしたり，HOU独自の効率的な画像処理ソフトを用いてデータの表示や分析ができることが特長です。HOUは総合的なカリキュラムも提供していますが，これは自然科学と数学に関する国の教育目標に沿った多くの課題や技能を幅広い天文調査研究に取り込んだ内容になっています。HOUは現在，中等学校と学校以外の教育施設向けの学習活動計画と教材を開発すると同時に，国防省附属学校を含めて，世界各地の高等学校のつながりの中にHOUを広めていこうとしています。

#### (2) HOU のカリキュラム

HOUのカリキュラムは数学や自然科学，工業技術を心惹かれる天文学的な探求の中に取り入れたものです。HOUは全米数学教員協会(National Council of Teachers of Mathematics)と全米学会議(National Research Council)がかかげる数学・自然科学に関する教育目標の多くに取り組んでいます。太陽系や銀河，変光星，超新星の調査を通じて，生徒たちが問題を解決する技術や物事を筋道

立てて考える力を伸ばしていくこと，それによって代数や幾何，さまざまなデータ表示方法と解析方法をはじめ，力と運動，エネルギーの変換，光の特性といった物理学の基本原則の必要性に気づくこと，これがHOUのカリキュラムの目標です。教室のコンピュータは，画像処理ソフトと遠隔通信とともに，生徒が研究をすすめるための研究器材と位置づけられています。

#### (3) HOU の望遠鏡

当初，HOU参加生徒は，カリフォルニア大学バークリー校天文学部のロイシュナー天文台(Leuschner Observatory)にある口径30インチ(約76cm)の自動望遠鏡に画像の撮影依頼をしていました。現在では，ローレンスバークリー国立研究所の近傍超新星探査(Lawrence Berkeley National Laboratory Nearby Supernova Search)チームが所有する，やはり口径30インチの望遠鏡を利用しています。これはまもなくカリフォルニア州モンテレー近郊のチューズリッジ(Chew's Ridge)という，空が非常に暗くなる所に移転することになっています。

画像撮影依頼の増加にともなって，HOUは望遠鏡を所有している協力機関を募り，ハワイ州，イリノイ州，カリフォルニア州，ワシントン州，それからスウェーデンとオーストラリアで教育用自動望遠鏡のネットワーク作りに共同で取り組んでいます。生徒からの依頼はこのネットワークを通じて実行されます。その際には天候，地理的条件，日程や設備を考慮の上，その依頼に最適なのはどこの望遠鏡かが決定されます。このネットワークが動き出せば，参加生徒の依頼にすばやく応じることができるようになるでしょう。また，望遠鏡がさまざまな標準時間帯に分布しているので，場合によってはリアルタ

\* 電子情報工学科助手

\*\* 電子情報工学科卒研生

原稿受付 1999年9月30日

イムの観測も可能になります。

#### (4) HOU の画像処理ソフト

最新の HOU 画像処理ソフトとデータ解析ソフト (HOU-IP) は、Windows95で作動します。HOU-IP の旧バージョンは486以上の Win3.1, または Macintosh II 以上のシリーズで作動します。このソフトは HOU 研修会 (HOU professional development workshop) に参加するすべての教師に提供されます。

画像処理ソフトの機能は次の通りです: log スケール, min/max 調整, サイズ変更, カラーパレット一式, 回転・反転・移動などの画像操作, 演算処理 (画像同士を足す, 引く, 掛け合わせる, 割る)。データ解析については, 各ピクセルについてカウントが表示され, スライス・プロットとヒストグラムは輝度分布を表わします。測光操作では半値全幅と背景補正の計算作業を行います。

#### (5) HOU の成功例

HOU は, 外部の査定機関から, その効果を把握するための調査を受けています。これは生徒の内容理解と自然科学への姿勢の両面から見た成果, また HOU が教員に与える影響, 教育に技術的な手法を用いることの影響が対象となります。調査の結果, 生徒たちは自然科学と数学のいろいろな概念を学び, 身につけようとする意欲が高いことがわかりました。これは, 彼らがそのような題材がどのように応用されているのか, 直接体験しているからです。さらに, 参加生徒は楽しんでコンピュータを使っていて, これはワープロより使い道がある, と実感しています。自然科学にはあまり興味がない, と思っていた生徒の多くは, HOU に参加したことで研究者が行っていることについての理解が深まり, また, 自分も科学分野の職業に就けるのではないか, 科学の仕事をするのも面白そうだ, と考えるようになりました。

専門的な望遠鏡を利用できる機会があれば, 驚くべき発見や価値ある研究を高校生がなしとげてしまうことも, 1994年春にオイルシティー高校 (Oil City High School) の2人の生徒によって実証されました。メロディ・スペンス (Melody Spence) とヘザー・タータラ (Heather Tartara) の2人は, 渦巻銀河の研究をしているときに M51 (子持ち銀河) の観測を依頼しました。数日後, 2人は電話連絡を受け, 彼女たちが撮った画像が1994年に発見された9番目の超新星 SN1994I の最初の光をとらえていたことを知らされたのです。スペンスさんとタータラさんは, SN1994I の測光に関する論文に共著者として登場します。

#### (6) HOU の今後の展望

高等学校向けプログラムの普及活動のほかに, HOU は現在全米科学財団からの助成金を受けて, 博物館, 科学キャンプ, 公民館 (community center) 等の学校外科学教育 (informal science education 略称 ISE) 施設向けの教材を開発中です。これらの教材は天文学とさまざまな教養を結び付けることに目的をおき, また, いろいろな学習歴や幅広い年齢層の要望に応えられるよう作成されています。ISE 教材は学校外教育施設や公開実験室で実施している講習会が対象です。さらに, ボストン科学博物館 (the Boston Museum of Science) は, HOU と共同開発した展示を導入しています。この展示は, 世界中の博物館やプラネタリウムが企画する展示のモデルとなるでしょう。

HOU は中等学校向け学習活動のモデル開発にも乗り出しました。本格的な中等学校向けカリキュラム開発のための基金を探しています。

## 2. 高専における実践例

小惑星探しや超新星探しはコンピュータを使って, 簡単な操作でできてしまうため, やる気のある学生であれば, 多少プログラミングが得意でない学生であっても, 熱心に研究を進めることができた。内容は各自の興味に合わせて, 自分から学んでいけるようになっている。こちらから教えるものではなく, 自ら学び取るようになっており, 学ぶことの喜びと研究し発見することの楽しさを味わえるようになっている。また, 小惑星探しはホームページから行うようになっており, 英語で書かれているため, 英語の勉強にもなる。

今の学生をみていて, なかなか自分からいろいろなことを調べようとする学生が増えている中で, HOU を使った小惑星探しは, 比較的とつきやすく, 楽しみながら勉強と研究を進めことができる。また, 大学と違って通常の授業の中に卒研が組み込まれている高専において, 短時間に勉強できて, 成果の上がる HOU のカリキュラムは, ちょうど良い教材となった。

## 3. カリキュラム

まず, 学生は以下のような内容をワークブックに従って自習した。

### ●画像処理入門

ここでは画像を表示させたりする基本的な使いかたを学習する。日食を探ろうという題が与えられ, 表示した画像から, 太陽のプロミネンス (太陽表

面から噴出している高温のガスの流れ)の解析をすることができる。

#### ●宇宙をのぞいて銀河の特徴を調べる

ここでは楕円銀河や、渦巻銀河の画像を見て、それぞれにある固有な特徴や形態をつかむ。多くの銀河は渦巻のように見えるので渦巻銀河と呼ばれている。この銀河にはたくさんの塵やガスがあり、恒星が生まれる要素となっている。また、楕円銀河と呼ばれるものには、ガスや塵がほとんどないため、新しい恒星は生成されていない。その他にも不規則銀河と呼ばれるものがあり、渦巻でも楕円でもない部類である。

このように、銀河にはいろいろと個性があり、時には銀河が互いに衝突し、壊れたり合体したりすると興味深いものであることがわかる。

#### ●超新星をみつける

本研究のテーマにもなっているが、同じ空の2枚の画像を移動したり、引き算をすることによって、超新星をみつけることができる。

超新星は、銀河系全体よりも明るくなることもあるほどのとても明るい天体である。一般的にとっても明るい天体には、銀河系や、かなり遠い銀河と同じ視線方向にある銀河系内にある前景の星の場合があるが、銀河系や近傍の星は一定の明るさを保ち続ける。

その一方で、超新星は、時間がたつにつれて明るさが変化する。はじめに明るく輝き、その後はゆっくりと暗くなって背景と区別できなくなっていく。可視光で見ると、超新星が現われてから完全に見えなくなるまで数週間から数ヶ月かかると言われている。したがって超新星を発見するには、違う時刻に撮られた画像どうしを比較することが必要となってくる。

超新星は、爆発時に一番強い光りを放出した後、徐々に光が弱まっていく。この時間的変化を利用して、一枚目の画像にはなく二枚目の画像にはある光を探す、または一枚目にはあったが二枚目にはない(弱まった)光を探すことで見つけることができる。

#### ●大きさを測る

HOUにある機能を使い、画像から様々な情報を読み取る。

#### ●月のクレーターの高さ

月にはたくさんのクレーターがあり、そのどれもが違った特徴を持っている。このクレーターの明るさを求めることで、高さを調べることができる。

#### ●光年

物の単位には様々なものがあり、私達の普段の生活には関係のないような大きなものがある。しかし、天文学で扱う単位はとても大きなものがほとんどである。そこで、大きな単位がどのようなものかを実感するために、私達の普段の生活の中にあるものを使って、その概念を理解する。

#### ●画像から大きさを測る

画像の1ピクセルが何秒角に相当するかを考えて、そこから天体の大きさを計算する方法を学ぶ。

#### ●月面の地形の大きさを測る

“画像から大きさを測る”と同じやり方で、月面の大きさを測ることができる。ここで、月は恒星などに比べ地球に近いことから、角度も大きくなる。そこで、月面のクレーターの大きさなどの部分的な大きさも計算することができる。

#### ●木星の質量

木星とその衛星の画像解析によって、木星の軌道半径と、木星が軌道を一周するのにかかる時間を求めることができる。また、この二つの値をある式にあてはめることで、木星の質量を求めることができる。

## 4. 小惑星

火星と木星の軌道の間(火星の軌道の外側で太陽から地球までの距離の約3倍のところ)に、いわゆるボーデの法則が予言する地点に無数の小天体が存在する。半径500km以下の天体、これを一般的に小惑星(asteroid)と呼ぶ。

小惑星にはメインベルトと呼ばれるものとカイパーベルトと呼ばれるものがある。

#### ●メインベルト

火星と木星の軌道の間であり岩のカケラのようなものでできている主小惑星帯のことである。

#### ●カイパーベルト

海王星の軌道を過ぎたあたりに存在したくさんの氷の塊でできている小惑星帯のことである。

## 5. メインベルト

### 5-1 小惑星の大きさと質量

小惑星は惑星といっても、その名のとおり大きさは小さい。望遠鏡でのぞいて直径が測れるのは何個もなく、ほとんど全部の小惑星の直径は明るさから計算されたものであり、それは大きいほど明るく光るだろうという観点からである。また、質量も小さい。小さいといっても、それは天文学的にいって小さいのであって、私達の日常生活の経験からいえば大きなものではある。最大の大きさを持つケレスで

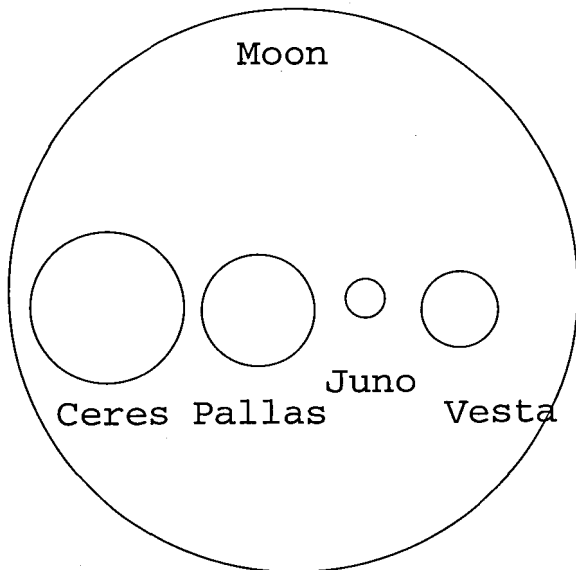


図1 四大小惑星と月の大きさの比較

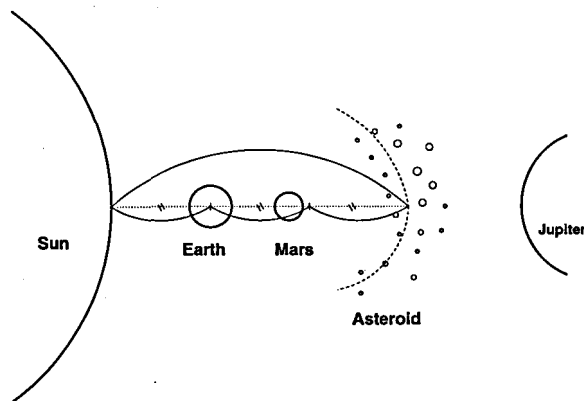


図2 小惑星の軌道の位置

も半径数百キロメートルで、質量を見てもケレス、ヴェスタはそれぞれ月の質量の約80分の1、250分の1である。わかりやすく言えば、「月を壊せば最大のケレス程度の小惑星が80個作れる」というわけである。直径10kmの小惑星なら600万個も作れることになり、こんな小さいものであるので、小惑星を全部集めても、その重さは月の37分の1しかないということから、ごく小さいものと考えることができる。また、地球と比較するととても小さく感じる月であるが、月と小惑星を比較すると図1のようにこれだけの大きさの違いがある。

### 5-2 軌道から考えられる起源

起源を考える上で、重要なことは小惑星群の軌道要素である。大部分は火星より遠く、木星より近くにあって、太陽のまわりをまわっているが、中には木星より遠くなるものもあり、地球や金星よりも太陽に近づくものもある。

多くの小惑星は、ほかの惑星に比べ離心率が大き

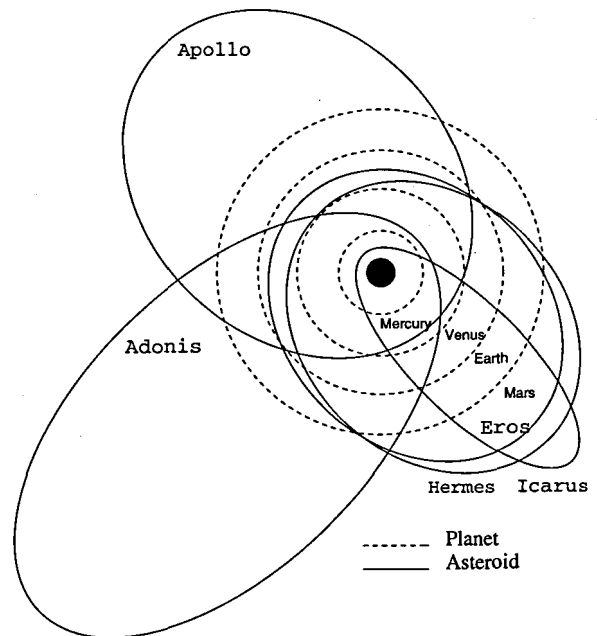


図3 いろいろな小惑星の軌道

く、惑星の軌道を円としてみると、図3のようになりゆがんだ楕円軌道を運動している。さらに、軌道を綿密に調べてみると、小惑星は軌道運動学的にいくつかのグループに分類できることもわかってきた。最近はもっと重要なことも明らかになってきている。小惑星個々の太陽光反射能を調べてみると、軌道で分類される同一グループの小惑星は同じような反射能を持つのである。砕ける前の天体を母天体と呼ぶが、母天体の表層付近にあった物質と中心付近にあった物質は異なるはずである。そのため、同じ小惑星とはいっても、反射能はいくつかのグループに別れるに至ったのだろうと考えられている。このことはとりも直さず、その科学組成が同じであることを意味している。

大きさからいっても、また軌道がかなりゆがんだ楕円であることや科学組成が似ていることなどから、小惑星の起源は次のように考えられる。すなわち、太陽系の歴史のある時期に、月ほどの大きさを持つ2つの天体が互いに衝突し、粉々に砕けたのが小惑星の星々であろう。また衝突によって砕けた破片があちこちに飛び散りかなり幅広い軌道要素を持つようになったのではないかと考えられている。このことについては、爆発したと考えるとうまく説明できる現象が発見されていることからいえる。

## 6. カイパーベルト

カイパーベルトというのは、海王星や冥王星の軌道付近から外側に広がった円盤状の領域のことである。ここには彗星の起源になるような小天体が多数

存在しているのではないか、という説が以前提唱されていた。

そして1990年代に入ってから海王星軌道付近に多数の小天体が発見され、中には冥王星軌道よりも外側をめぐるものも発見され、その存在が明らかになった。現在までに60~70個ほど観測されているが、その直径は数十km~数百km位であり丁度彗星と惑星の中間的な大きさをしている。直径100km以上のカイパーベルトの天体は少なくとも35,000個があると推測され、その数は、主小惑星帯の同じサイズの天体の数の数百倍になる。これらは、太陽系を形成した星雲の名残であり、構成している物質とその分布は、初期の太陽系の進化のモデルを考えるうえで重要な決め手となっている。

#### 6-1 小惑星の発見

実際に画像をダウンロードし、画像処理を行ってみると、10枚に1つくらいは小惑星を発見することができた。ただ、これはすべてが新しい小惑星という訳ではなく、ほとんどが既に発見されているものであり、本当に新しい小惑星の発見はかなり多くの画像の処理をおこなわないと難しいであろう。ただ、アメリカでは海王星の軌道を過ぎたあたりに存在するカイパーベルト天体を見つけた例もあり、がんばって画像処理を行うことで大発見につながる可能性があることがわかる。

#### 6-2 小惑星の発見後

小惑星の発見後は、単に見つけて終わるだけでなく、軌道を特定し、その小惑星がまだ発見されていないものであるかを確認することが大切である。ただし、軌道を決定するためには、同一日の同じ視野の画像が最低2枚必要であり、なかなかいいデータがないことが難点であった。

#### 6-3 同一の小惑星であるかどうかの判断

同じ赤経赤緯で撮影日が異なる2つの画像に写っている小惑星は、小惑星帯の小惑星なら(移動量が10分露出で10-20ピクセル程度のもの)、全く別物の小惑星と考えてよい。もし、小惑星帯にあるありふれた小惑星なら、70"/h ぐらいのスピードである。1枚の画像サイズは8'×8'なので、8×60/70=約7時間で端から端へ動いてしまう。

一方、EKBOs(カイパーベルト天体)では8×60/3=160時間=約7日間なので、数日間のインターバルで撮影された同一視野の画像に、写っている可能性がある。でも、同じ日に2枚撮っていないと、これがEKBOsであるとなかなか決めることができない(さまざまなまがいものがあり得る……コズミックレイやCCD表面のゴミや欠損etc)であろう

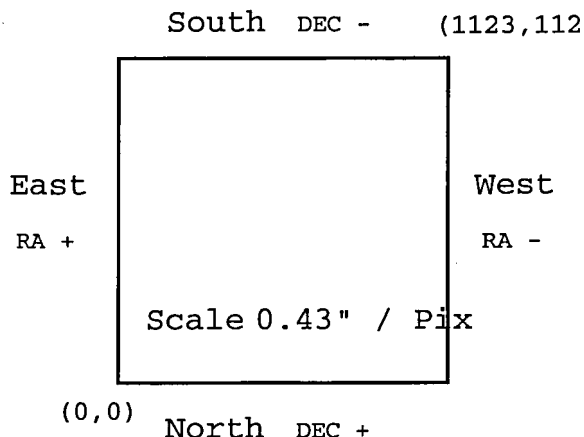


図4 画像のサイズ

し、10分露出で1ピクセル前後の動きなので、動いている方向までは特定できないだろう。そのため、同一日の同じ視野の画像がどうしても最低2枚必要となる。

次に、小惑星帯の小惑星でも、同じ日に2枚以上の同一視野の画像があれば、サブトラクトした画像上に、白と黒のペアのペアができるので、動く方向と速度(角度/時間)を求めることができる。前日または翌日の位置はその動きを外捜(2点なら比例配分、3点以上ならベッセル補間等)して計算し、写っているであろう赤経赤緯の画像を探すことになる。これがなかなかほしい画像が撮られていないので悔しい思いをすることが多い。もし、2日以上にわたって同定できた小惑星が見つかったら、暫定的に円軌道を計算し、位置推算してみる3日以上位置データが取れば、それから楕円軌道を求めることもできる。

#### 6-4 小惑星の確認

HOUのソフトで求めたデータは、HOUのソフトに依存しているので実際のデータではない。そこで、HOUのデータを使って実際のデータを求める必要がある。実際のデータを元に、今まで見つかった小惑星であるか調べる。スミソニアンの小惑星チェッカーというWebのページで、この小惑星候補が今までに見つかったものかどうかを調べる。

### 7. HOU を用いて卒業研究を行った利点

HOUのワークブックは、与える教育ではなく、自らが学びとるものになっている。自分で考え自分の発想でいろいろなことを学べるようになっていくことが、卒業研究で行うのに適していた。本来は通常の授業でもこういう形式のものをどんどん取り入れてそれぞれの生徒が自分の興味に沿って、何かを学んでいける形にできることが理想であろう。日本

の教育機関では、なかなかこういう自由な発想のできる教育が取り入れられていないのが現状であるが、生徒自身が積極的に学ぶことができるカリキュラムをどんどん取り入れて行くことが重要であると思われるし、高専ではそういう教育を高校レベルから取り入れやすい環境にあると思われる。

ワークブックは7章に分れており、今回は4章までを勉強し、その後、小惑星探しの方法を学んで、小惑星を探す研究を行った。内容としては、標準的な授業でおこなわれているような抽象的なものではなく、豊富な例を用いて、生徒が自然科学に親しみやすいものに工夫されているため、卒研の学生も興味を持って課題に取り組んでいた。

また、小惑星探しも何段階かの画像処理をほどこすことにより、専門的な知識が無くても小惑星を探せるため高専生のレベルであれば、問題なく取り組めるものであった。高専の卒業研究では、本格的な研究だとなかなかついていけない学生も多く、やる気はあっても挫折することもあったが、今回のように工夫されたカリキュラムと少しがんばれば到達できる内容であれば、学生も積極的に卒業研究をおこない、いい成果が得られたと感じられた。

さらに、アメリカの高校と共同研究という形をとり、電子メールによって、お互いの研究経過や文化の交流を行うことにより、研究の仕方や英語によるコミュニケーションを学ぶとることができた。英語は大切であり、勉強しなければいけない言語であるが、それは実際にアメリカ人などと交流をしてみないと、実感できないものである。そういう点で英語を勉強する動機付けとしてもとても有効な方法であり、英語教育としてもいい教材であったと思われる。

表1 方角1053-0333

日付	時間	小惑星の座標 (X, Y)		
		(1)	(2)	(3)
980323	0156 c	72.78, 855.61	537.14, 855.85	589.30, 334.95
	0256 c	184.47, 920.06	668.38, 951.24	681.27, 388.83
	0521 c	28.32, 847.27	817.94, 953.05	734.42, 288.77

## 8. 今後の課題

ただ、小惑星を見つけるだけでほとんど終わってしまい、その軌道や小惑星の物理的特徴を調べるところまではなかなかできなかった。今回の卒研は比較的熱心な学生であったが、物理的な調査となると、なかなか頭がついていかないようで、そこまで本を調べるなどしてやろうとはしない傾向があり、そのあたりをどのように導いていけるかが今後の課題となった。

## 9. 卒業研究で確認された小惑星のデータ

最後に昨年の卒業研究において発見した小惑星の座標を表1～6に示しておく。それぞれの表題は、望遠鏡で画像を撮影した時の方角を表わしている。例を挙げて説明すると、表1の題は、方角1053-0333である。1053の部分は図4のRAを示している。0333の部分は図4のDECを示している。この表は、画像の撮られた日付と時間、その画像から発見した小惑星の座標を示している。また、一つの画像で複数の小惑星を発見した場合は、小惑星の座標の下に番号を付けた。

さらに表1～6の中で、例として「1055-0245-980324」について、前章で述べた小惑星の確認を行った時のデータを示す。表7は、HOUソフトのデータから実際のデータを求めたものである。表8は、表7のデータを持つ小惑星が、今までに発見されたことがあるかを調べた結果、表示されたものである。これにより、この小惑星は今までに発見されたことがあるものだということが分った。

表2 方角1055-0245

日付	時間	小惑星の座標 (X, Y)
980323	0144 b	209.91, 80.21
	0244 b	332.04, 124.08
	0406 b	362.10, 86.96
980323	0144 c	697.67, 298.27
	0244 c	825.06, 348.37
	0406 c	862.63, 317.62
980324	0125 a	757.59, 760.19
	0251 a	830.43, 686.56

表3 方角1055-0305

日付	時間	小惑星の座標 (X, Y)		
		(1)	(2)	(3)
980323	0144 a	665.15, 788.42	995.73, 756.72	243.07, 456.27
	0244 a	554.68, 724.17	867.95, 686.78	113.97, 389.31
	0406 a	628.31, 777.08	1034.29, 751.98	286.77, 449.07
980324	0125 a	242.46, 726.04		
	0251 a	351.18, 681.53		

表4 方角1055-0319

日付	時間	小惑星の座標 (X, Y)
980323	0030 c	296.83, 120.81
	0107 c	370.65, 120.05

表5 方角1058-0413

日付	時間	小惑星の座標 (X, Y)	
		(1)	(2)
980323	0208 c	53.55, 259.06	878.11, 1043.92
	0309 c	174.79, 301.54	994.26, 1094.56
	0534 c	279.82, 154.99	1089.75, 958.91

表6 方角1057-0305

日付	時間	小惑星の座標 (X, Y)	
		(1)	(2)
980323	0144 a	670.04, 564.25	452.19, 146.98
	0244 a	787.33, 610.11	559.60, 194.74
	0406 a	810.22, 579.36	571.09, 161.37
980323	0144 b	564.02, 869.29	
	0244 b	670.55, 925.20	
	0534 c	680.74, 902.03	
980323	0144 d	326.89, 390.57	
	0244 d	459.41, 452.16	
	0406 d	506.59, 437.16	
980324	0125 b	323.97, 1009.10	
	0251 b	430.23, 937.00	
980324	0125 c	914.15, 1058.73	
	0251 c	989.58, 1003.44	
980324	0125 d	779.47, 927.90	914.13, 136.75
	0251 d	874.99, 868.36	990.26, 80.90

表7 位置の確認

Obs #	image	HOU x y	Star rad	Sky rad	Counts	RA	Dec	mag	UT
1	1055-0245 980324 0125a.fth	757.59 760.19	4	8	3973	10ht 56min 0.19sec	-2Deg 43min 47.99sec	21.68	1.30 0.9
2	1055-0245 980324 0251a.fth	830.43 686.56	5	9	2009	10hr 55min 57.96sec	-2Deg 43min 21.73sec	21.07	2.56 9.10

表8 小惑星チェッカーの結果

Object designation	RA-Decl			V	Offsets		Mortion/ht	
	h	m	°		RA	Decl	RA	Decl
1996XA6	10	54.90	-00 55.4	17.0	16.5W	20.8N	0.4-	0.2+
1996VJ30	10	57.78	-01 59.1	17.4	26.7W	42.9S	0.5-	0.3+
1981DF	10	56.58	-00 25.3	17.3	8.7E	50.9N	0.5-	0.1+
(7375)	10	52.71	-00 49.0	17.6	27.2W	27.2N	0.6-	0.1+