

# 対 外 報 告

## 第二報告：新しい太陽系像について

- 明らかになってきた太陽系の姿 -



平成19年(2007年)6月21日

日 本 学 術 会 議

物理学委員会

IAU 分科会及び天文学・宇宙物理学分科会

この対外報告は、日本学術会議物理学委員会 IAU 分科会及び天文学・宇宙物理学分科会太陽系天体の名称等に関する検討小委員会の審議に基づき、IAU 分科会及び天文学・宇宙物理学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

### 日本学術会議物理学委員会 IAU 分科会

|     | (氏名)          | (職名)                   |
|-----|---------------|------------------------|
| 委員長 | 海部 宣男 (第三部会員) | 放送大学教授、国立天文台名誉教授       |
| 幹事  | 福島 登志夫 (連携会員) | 国立天文台副台長               |
|     | 佐藤 勝彦 (第三部会員) | 東京大学大学院理学系研究科教授        |
|     | 井上 一 (連携会員)   | 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部長    |
|     | 池内 了 (連携会員)   | 総合研究大学院大学先導科学研究科教授     |
|     | 岡村 定矩 (連携会員)  | 東京大学大学院理学系研究科教授        |
|     | 小山 勝二 (連携会員)  | 京都大学理学研究科物理学第二教室教授     |
|     | 芝井 広 (連携会員)   | 名古屋大学教授                |
|     | 柴田 一成 (連携会員)  | 京都大学大学院理学研究科附属天文台教授・台長 |
|     | 杉山 直 (連携会員)   | 名古屋大学大学院理学研究科教授        |
|     | 須藤 靖 (連携会員)   | 東京大学大学院理学系研究科物理学 専攻教授  |
|     | 長谷川 哲夫 (連携会員) | 国立天文台教授                |
|     | 牧島 一夫 (連携会員)  | 東京大学大学院理学系研究科教授        |
|     | 観山 正見 (連携会員)  | 国立天文台台長                |

### 物理学委員会天文学・宇宙物理学分科会

|      | (氏名)          | (職名)                |
|------|---------------|---------------------|
| 委員長  | 海部 宣男 (第三部会員) | 放送大学教授、国立天文台名誉教授    |
| 副委員長 | 佐藤 勝彦 (第三部会員) | 東京大学大学院理学系研究科教授     |
| 幹事   | 杉山 直 (連携会員)   | 名古屋大学大学院理学研究科教授     |
|      | 永原 裕子 (第三部会員) | 東京大学大学院理学系研究科教授     |
|      | 井上 一 (連携会員)   | 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部長 |
|      | 池内 了 (連携会員)   | 総合研究大学院大学先導科学研究科教授  |
|      | 岡村 定矩 (連携会員)  | 東京大学大学院理学系研究科教授     |
|      | 小山 勝二 (連携会員)  | 京都大学理学研究科物理学第二教室教授  |

|        |        |                        |
|--------|--------|------------------------|
| 芝井 広   | (連携会員) | 名古屋大学教授                |
| 柴田 一成  | (連携会員) | 京都大学大学院理学研究科附属天文台教授・台長 |
| 鈴木 洋一郎 | (連携会員) | 東京大学宇宙線研究所所長           |
| 須藤 靖   | (連携会員) | 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻教授   |
| 長谷川 哲夫 | (連携会員) | 国立天文台教授                |
| 福島 登志夫 | (連携会員) | 国立天文台副台長               |
| 牧島 一夫  | (連携会員) | 東京大学大学院理学系研究科教授        |
| 観山 正見  | (連携会員) | 国立天文台台長                |

### 太陽系天体の名称等に関する検討小委員会

|      | (氏名)   | (職名)                            |
|------|--------|---------------------------------|
| 委員長  | 海部 宣男  | (第三部会員) 放送大学教授、国立天文台名誉教授        |
| 副委員長 | 永原 裕子  | (第三部会員) 東京大学大学院理学系研究科教授         |
| 幹事   | 福島 登志夫 | (連携会員) 国立天文台教授                  |
|      | 岡村 定矩  | (連携会員) 東京大学大学院理学系研究科教授          |
|      | 祖父江 義明 | 東京大学名誉教授、前日本天文学会理事長             |
|      | 花岡 庸一郎 | 国立天文台助教授、日本天文学会庶務理事             |
|      | 渡部 潤一  | 国立天文台助教授、同天文情報センター長             |
|      | 木下 宙   | 国立天文台名誉教授                       |
|      | 吉川 真   | 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部助教授           |
|      | 井田 茂   | 東京工業大学教授                        |
|      | 縣 秀彦   | 国立天文台助教授、同天文情報センター普及室長          |
|      | 榎森 啓元  | 秀明大学助教授                         |
|      | 柳澤 正久  | 電気通信大学教授                        |
|      | 五島 正光  | 巣鴨高等学校教諭、天文教育普及研究会学校教育委員        |
|      | 加藤 明良  | 埼玉県さいたま市立大宮西中学校教諭               |
|      | 北原 政子  | 名古屋市科学館、日本プラネタリウム協議会理事          |
|      | 黒田 武彦  | 兵庫県立大学教授・西はりま天文台公園長、日本公開天文台協会会長 |
|      | 中野 圭一  | 国際天文学連合小惑星センター協力メンバー、小惑星命名委員会委員 |
|      | 柴田 鉄治  | 日本科学技術ジャーナリスト会議理事               |
|      | 藪 保男   | 東亜天文学会理事長                       |

**小委員会の審議において、以下の方々にご協力いただきました。**

古在 由秀 (県立ぐんま天文台長)  
武部 俊一 (日本科学技術ジャーナリスト協会理事)  
中本 泰史 (東京工業大学助教授)  
有本 淳一 (京都市立塔南高等学校教諭、天文教育普及研究会学校教育委員)  
土佐 誠 (東北大学教授、日本天文学会理事長)  
川上 新吾 (文部科学省初等中等教育局教科書調査官)

## 要 旨

### 1 作成の背景

2006年の国際天文学連合（IAU）総会における惑星の定義に関する一連の決議で、冥王星は惑星ではなく太陽系外縁天体の一つとして、準惑星に分類された。太陽系外縁天体の発見によって太陽系の大きな広がり認識され、その構造と歴史の理解が進んだ結果である。この決議を踏まえ、日本学術会議では、天文学、惑星科学、理科教育、ジャーナリズムなど広い分野の専門家による「太陽系天体の名称等に関する検討小委員会」を設置し、検討を重ねてきた。

小委員会ではまず、第26回IAU総会において決議された惑星の定義が基本的に天文学の最新の知見を反映したものであることを確認するとともに、近年相次いだ発見によって太陽系が極めて大きな広がりを持つことが明確になり、その起源と歴史の理解もめざましく進んだことについて、社会においても教育の場でも広く認識されることが重要と考えることで一致した。

2007年4月に公表した第一報告では、太陽系天体の新たなカテゴリーについて準惑星(dwarf planet)、太陽系外縁天体(TNO=trans Neptunian objects)、太陽系小天体(small solar system bodies)、冥王星型天体（英語名未定）という日本語名称を用いることを推奨し、太陽系の新しいイメージを分かりやすく広め、社会の関心と期待に応えることの重要性を指摘した。

引き続き、大きく豊かになった太陽系の新しい姿を分かりやすく整理し、教育・普及・出版等に適切な資料を提供するための検討を行った。第二報告はその結果を取りまとめたものである。

### 2 対外報告の概要

新しい太陽系像を理解するための一般社会向け及び教育向けの資料を取りまとめ、広く社会の利用に供する。また、今後この資料に基づき、ポスターやリーフレットや作成し配布する予定である。

一般向け説明資料：図版資料とともに、新しい太陽系を分かりやすく説明した資料。

図版資料：

図1 これまでの太陽系像、図2 新しい太陽系像、図3 さらなる広がり、補足図（3枚）各図の説明

中学生向け説明資料：中学生が読んで分かりやすいよう作成した参考資料。

教育指導者向け説明資料：上記中学生向け説明資料を補足し、教育指導者が必要に応じ、より深い内容にも触れることができるよう作成した資料。

## 目 次

|  |   |
|--|---|
| 新しい太陽系像について                                    | 1 |
| 一般向け説明資料：新しい太陽系の姿について                          | 2 |
| 1．これまでの太陽系像                                    | 2 |
| 2．最近の発見と国際天文学連合の決議                             | 2 |
| 3．新しい太陽系像                                      | 2 |
| 4．さらなる広がり                                      | 3 |
| 図版資料   | 4 |
| 中学生向け説明資料：太陽系の天体 - 明らかになってきた太陽系の姿 -            | 5 |
| 太陽系とは？   | 5 |
| 新しい太陽系の考え方が整理された                               | 5 |
| 1．太陽   | 5 |
| 2．惑星   | 6 |
| 3．太陽系外縁天体と冥王星型天体                               | 6 |
| 4．小惑星  | 6 |
| 5．彗星   | 6 |
| 6．衛星   | 7 |
| 7．流星と隕石  | 7 |
| 教育指導者向け説明資料：「太陽系の天体 - 明らかになってきた太陽系の姿 -」の指導について | 8 |
| 1．はじめに   | 8 |
| 2．授業で押さえるべきポイント                                | 8 |
| 3．本文（中学生向け説明資料）の解説                             | 9 |

## 新しい太陽系像について

2006年8月に国際天文学連合（IAU）総会が決議した惑星の定義により、長らく惑星とされてきた冥王星は、太陽系外縁天体の一つとして準惑星というカテゴリーに分類されることになった。この決議は、太陽系外縁天体の相次ぐ発見によって太陽系が極めて大きな広がりを持つことが明確になり、太陽系の起源と歴史の理解が目覚しく進んだことを踏まえたものである。第一報告ではそうした学問的状況を重視し、太陽系天体の新たなカテゴリーについて準惑星（dwarf planet）、太陽系外縁天体（TNO=trans Neptunian objects）、太陽系小天体（small solar system bodies）、冥王星型天体（英語名未定）という日本語名称を用いることを推奨するとともに、太陽系の新しいイメージを分かりやすく広め、教育をはじめ社会の関心と期待に応えることの重要性を指摘した。

この方針に基づいて、新しい太陽系像を理解するための一般向け、中学生向け及び教育指導者向けの資料を検討した。本第二報告は、その結果を取りまとめて広く利用に供することを目的とするものである。具体的には以下に示すように、一般向け説明資料と新しい太陽系理解のための図版資料セット、中学生向け説明資料とそれを踏まえた教育指導者向け説明資料から構成される。教育・普及・出版などの場において、これらを必要に応じて自由に利用し、工夫・発展させることが期待される。

（資料内容）

- 1．一般向け説明資料
- 2．図版資料
  - 図1 これまでの太陽系像
  - 図2 新しい太陽系像
  - 図3 さらなる広がり  
補足図
- 3．中学生向け説明資料
- 4．教育指導者向け説明資料

また、日本学術会議は以上の検討・報告のフォローアップとして、関係学協会などの協力を得て分かりやすいポスター、リーフレットなどを作成し、関係方面に適宜配布するなど、広く利用頂く予定である。

## 一般向け説明資料 新しい太陽系の姿について

### 1. これまでの太陽系像 (図1)

従来は、太陽からの距離が近い順に水星・金星・地球・火星・木星・土星・天王星・海王星・冥王星と並ぶ9つの惑星と、それを回る衛星、火星と木星の軌道間にその大部分が分布する小惑星、太陽に近づくとガスや微小な固体粒子の尾を出す彗星が、太陽系の主なメンバーであると考えられてきた。小惑星は、最初に発見されたケレスのサイズが小さくまた同種の小天体が次々に発見されたことで、他の惑星と異なる種類の天体であることがすぐに明らかとなった。一方、冥王星は、1930年の発見当時はかなり大きいと思われていたこと、海王星以遠の軌道を持つ天体が他に発見されなかったことから、惑星として位置付けられてきた。

### 2. 最近の発見と国際天文学連合の決議 (図2)

1992年以降、冥王星に似た軌道を持つ天体が数多く発見され、軌道長半径が海王星のそれより大きいのでTNO(trans-Neptunian objects)、あるいはその存在を推定した2人の研究者の名からエッジワース・カイパーベルト天体などと呼ばれてきた。それらの中には冥王星と同程度かそれよりも大きいと推定される天体も発見され、公転軌道の分布などからも、冥王星がこれら一群の天体の一員であることが明白になった。どのような天体を惑星と呼ぶかという定義はこれまでなかったが、その必要が生じたと判断され、国際天文学連合(IAU)は2006年8月の総会で、次のような決議を行った。

- 1) 次の3つの条件を満たす天体を planet と呼ぶ。
  - (a) 太陽のまわりを回っている
  - (b) 質量が十分大きいと自己の万有引力で強くまとまり、ほぼ球形(流体力学的平衡の形状)になっている
  - (c) その軌道の領域で他の天体を力学的に一掃している
- 2) 上記(a)、(b)は満たすが(c)を満たさない、かつ衛星でない天体を dwarf planet と呼ぶ。
- 3) 太陽のまわりを回っている他の天体は small solar system bodies と呼ぶ。

### 3. 新しい太陽系像 (図2、図3)

これらの新しい定義に関連し、日本では次の名称を使うことを推奨する。太陽系外縁天体の発見で太陽系の範囲が大きく拡がり豊かになったことは、重要である。



- (1) **惑星 (planet)** : 水星・金星・地球・火星・木星・土星・天王星・海王星の 8 つである。これらの惑星は、ほぼ同じ面内を運動している。冥王星は惑星ではない。
- (2) **太陽系外縁天体 (TNO=trans-Neptunian objects)** : 単に外縁天体でもよい。海王星を超えて非常に遠くまで分布する多数の小天体のグループで、冥王星もその一員である。1992 年以降すでに 1000 個以上発見され、TNO、エッジワース・カイパーベルト天体などとも呼ばれてきた。その中で冥王星と 2003 年に発見されたエリスは直径 2000 km を越え、それ以外にも直径 1000 km 以上と推定されるものが数個発見されている。また、軌道が冥王星軌道の 10 倍以上遠くまで広がっている天体もある (図 3)。
- (3) **準惑星 (dwarf planet)** : 2007 年 4 月現在、太陽系外縁天体である冥王星とエリス、小惑星帯で最大のケレスの合計 3 つが、準惑星とされている。ある天体が準惑星かどうかの判定が難しいことなどからその定義はさらなる検討の余地があること、また高校までの学校教育に必要なレベルを超えると判断したことから、当面この概念の積極的な使用は推奨しない。また、仮訳として与えられた「矮惑星」の名は推奨しない。
- (4) **太陽系小天体 (small solar system bodies)** : 惑星、準惑星、衛星以外の太陽系のすべての天体。すなわち、ケレスを除く小惑星、冥王星とエリスを除く太陽系外縁天体、彗星がこれに含まれる。
- (5) **冥王星型天体 (英語名称は未定)** : 太陽系外縁天体でもあり準惑星でもある天体をさす。すなわち外縁天体の中で大きなものに対応する新しい天体カテゴリーで、2006 年の IAU 総会で決議された。英語名称はなお検討中だが、日本での名称は「冥王星型天体」とすることを、先の第一報告で推奨した。2007 年 4 月現在、冥王星とエリスの 2 つだけだが、他にも準惑星の基準を満たしそうな外縁天体があり、今後、冥王星型天体は増える可能性がある。

#### 4 . さらなる広がり (図 3)

太陽系外縁天体には軌道が冥王星軌道のはるか外側まで広がっているものもあり、今後もたくさん見つかるであろう。また長周期彗星の軌道分布から、海王星軌道の 1000 倍以上の広大な領域にも多くの天体があり、太陽系を雲のように囲んでいるのではないかと考えられている。この仮想的な雲をオールト雲といい、太陽系外縁天体の広がりはいずれオールト雲まで続いている可能性もある。その外は、他の恒星や恒星間空間の世界である。

## 図版資料 (別紙)

### 図1 これまでの太陽系像

2006年8月24日時点の天体の位置や軌道を黄道面(地球の軌道面)に投影した図。ただし、図中の惑星の大きさは正確ではない。9つの惑星(黒)と小惑星(茶)、彗星(ピンク)が主なメンバーと考えられてきた。小惑星には番号が付けられており、ここには5000番までのものを示した。小惑星と同様、彗星の数も非常に多い。代表としてハレー彗星のみを示した。惑星(冥王星以外)の軌道は、ほぼ同一平面上にある。

なお、1天文単位は、地球-太陽間の距離である。

### 図2 新しい太陽系像

縮尺は図1と同じ。「水金地火木土天海」の8つの惑星(黒)の軌道は、ほぼ同一平面上にある。他の天体の軌道は、必ずしもこれと同じ面上にはない。3つの準惑星の軌道は、破線で描かれている。この内、ケレスは小惑星(茶)に、冥王星とエリスは太陽系外縁天体(青)に属する。外縁天体に属する準惑星を、「冥王星型天体」と呼ぶ(現在は、冥王星とエリス)。外縁天体の中には他にも大きなものが幾つかあり、今後の観測で「冥王星型天体」に分類される天体は増える可能性がある。

### 図3 さらに広がる

特に大きな軌道半長径をもつ太陽系外縁天体の軌道と、仮想的なオールト雲のイメージ。軌道は黄道面(地球の軌道面)に投影して描かれている。オールト雲は長周期彗星の軌道の分布から推定された天体の集まりであるが、まだ発見されていない。非常に大きいと考えられ、冥王星軌道の10倍以上の広がりをもつ既知の外縁天体の大きな軌道も、オールト雲と比較すると中心部の一点と見分けがつかない。外縁天体の分布はオールト雲につながっているのかも知れない。

### 補足図

補足図1 図2と同様。ただし直径1000km程度以上と思われる外縁天体の軌道を付加した。(黄道面に投影)

補足図2 補足図1と同様。ただし各軌道の傾斜角をゼロとして黄道面に置き、また小さな外縁天体の位置(点)を除いた。(黄道面上の図)

補足図3 補足図1と同様。ただし黄道面に沿って(横から)見た場合、太陽系は全体として内側は平たく一つの面内にあり、外へ行くほど上下にも大きく広がるのが分かる。

## 中学生向け説明資料

### 太陽系の天体 - 明らかになってきた太陽系の姿 -

#### 太陽系とは？

夜空に輝く星々には、いろいろな種類のものがあります。自ら光り輝き、地球上の位置がほぼ動かない星は、恒星と呼ばれます。太陽も、恒星と同じ仲間です。一方、太陽のまわりを回りながら、太陽からの光を反射して光っているものがあります。例えば私たちの地球のような惑星や、長い尾を持つ彗星などです。太陽とそのまわりを回るこうした天体の集まりを、太陽系と呼びます。

夜空に水星、金星、火星、木星、土星という明るく目立つ星があって、恒星が作る星座の間を動いていくことは昔から知られていて、その複雑な動きから、「惑(まど)う星」、惑星と呼ばれました。明るい5つの惑星の動きは昔から観測・研究されていましたが、天文学の発達や、17世紀に登場した天体望遠鏡によって、18世紀以降、土星の外側に天王星や海王星、冥王星が発見され、惑星は地球を合わせて9つになりました。火星と木星の間には、惑星に比べてとても小さな天体(小惑星)が数多く発見され、太陽系には彗星も含めていろいろな種類の天体があることがわかってきました。また、冥王星は他の惑星に比べてかなり小さいことも、はっきりしました。そして20世紀の終わりころ、冥王星の近くやその外側に、冥王星とよく似た小さな天体(太陽系外縁天体)がとてもたくさんあることが、発見されたのです。

#### 新しい太陽系の考え方が整理された

そこで、2006年8月に世界の天文学者が集まって、どんな天体を惑星と呼ぶのか、また、そのほかの天体の種類分けや呼び方を議論し、その結果、惑星は水星から海王星までの8つということになりました。

冥王星も含め、海王星の外側をたくさん回っている惑星にくらべて小さな天体を、太陽系外縁天体と呼び、そのなかで冥王星など比較的大きな天体をまとめて、冥王星型天体と呼ぶことになりました。

このような新しい結果をふまえると、太陽系の天体は、次のようになります。

#### 1. 太陽

太陽は、自分で光を出して光っている星で、恒星という天体の仲間です。高

温のガスのかたまりで、直径は地球の109倍、質量は33万倍あります。

## 2. 惑星

惑星は、太陽のまわりを回っていて、大きな質量を持ち、丸い形をしています。太陽系には内側から水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星の8つがあります。これらは、小型で主に岩石からできている地球型惑星（水星、金星、地球、火星）と、大型の木星型惑星（木星、土星、天王星、海王星）に分けられます。木星型惑星のうち木星と土星は多量のガスで覆われており、また最近の研究から、天王星と海王星は岩石のほか多量の水も含まれていると考えられます。

## 3. 太陽系外縁天体と冥王星型天体

海王星の近くや外側を回っている氷などでおおわれた小型の天体を、太陽系外縁天体と呼び、すでに1000個以上見つかっています。太陽系外縁天体のうち、直径や質量がある程度大きくて丸い形をしたものを、冥王星型天体と呼びます。冥王星型天体の代表である冥王星の直径は、約2400kmです。太陽系外縁天体はとてたくさん存在し、冥王星の軌道の10倍以上も遠くまで広がっていることがわかっています。

## 4. 小惑星

小惑星は、主として火星と木星の間に存在し太陽を回っているたくさんの天体で、大きさも成分もさまざまですが、岩石が主体です。大きさでいうと、最も大きなケレスでも直径は950kmで、一番小さい惑星である水星の5分の1しかありません。

## 5. 彗星

彗星は、ほうき星とも呼ばれます。太陽のまわりを円に近い軌道で回る惑星と異なり、長いだ円の軌道を描いて遠くからやってきてまた飛び去る、小さな天体です。とても細かい砂のような粒を含む氷が主成分で、太陽に近づいて氷が蒸発してガス化して広がったり、このガスや微小な砂粒が太陽からの光などで吹き流されて尾を引いたりしているものを言います。彗星のなかには、太陽や地球のすぐ近くまで接近するものもある一方、木星のあたりまでしか近づかな

いものもあります。彗星すいせいのもとには、外のほうの太陽系外縁天体たいようけいがいえんや、もっと遠くの、まだ見つからないオールト雲からやってくると考えられています。

## 6．衛星

衛星えいせいは、自分よりも大きな惑星わくせいや小惑星しょうわくせいなどのまわりを回る天体です。月は、地球のただ一つの衛星えいせいです。質量の大きな木星型惑星わくせいのまわりには、たくさんの衛星えいせいが見つかっています。その中には、木星の衛星えいせいガニメデや土星の衛星えいせいタイタンなど、水星より大きいものもあります。

## 7．流星と隕石

太陽のまわりを回っているととても小さな砂粒のようなものが、地球に飛び込み、地球大気とのまさつでガスとなって光るのが流星（「流れ星」ともいう）です。大きなかたまりが地球に飛び込むと、大気中で燃え尽きずに地表に落ちてくることがあります。これを、隕石いんせきと呼びます。彗星すいせいからは尾とともに小さな砂粒などが大量に飛ばされ、これが彗星すいせいの通り道を動いています。このような彗星すいせいの通り道を地球が横切ると、たくさんの流星が観測されます。これが流星群で、しし座流星群、ペルセウス座流星群などが有名です。

## 教育指導者向け説明資料

### 「太陽系の天体 - 明らかになってきた太陽系の姿 - 」の指導について

#### 1. はじめに

1992 年以来相次ぐ、海王星より遠い軌道を回る数多くの小天体（太陽系外縁天体 = TNO: trans Neptunian objects）の発見を踏まえ、2006 年 8 月の国際天文学連合（IAU）総会において、惑星の初めての定義と太陽系天体の新たな分類が決められた。これまで惑星に区分されてきた冥王星は太陽系外縁天体の一つとして惑星から外れるとともに、太陽系外縁天体の大きなものという新しいカテゴリー（= 冥王星型天体）に分類されることとなった。このように、新しい発見によってこれまで謎が多かった冥王星の位置付けがはっきりしたばかりでなく、太陽系の姿は従来の教科書に書かれているものに比べ、非常に大きく、豊かになった。太陽系に関する授業では、海王星までの太陽系の構造だけでなく、その外側に冥王星を含めて大きく広がる外縁天体の領域についても、新たな知見を示すことが望ましいであろう。また関心のある生徒には、これらの天体が物語る太陽系の形成と歴史も、興味ある教材になると思われる。

ここでは新たな定義・分類に基づいた太陽系天体の特徴を整理した中学生向け説明資料（本報告）を踏まえて、太陽系に関する授業等のための解説を加え、教育指導者向け資料とする。またこれらの資料をもとに、学校向けの「太陽系ポスター」なども作成する予定である。添付の図とともに、目的に応じてさまざまな指導にお役立てくだされば、幸いである。

#### 2. 授業等で押さえるべきポイント

##### （1）太陽系の構造に関する概念

太陽系は惑星だけでなく、小惑星、太陽系外縁天体（及びその中の冥王星型天体）、彗星、衛星などで構成されている。

太陽系の広がりには海王星までではなく、そのはるか外側まで広がっており、冥王星など冥王星型天体を含む無数の太陽系外縁天体が回っている。

##### （2）太陽系天体の名称

冥王星は「太陽系外縁天体」のひとつだが、質量が大きく、丸い形状をしている「冥王星型天体」に分類される。「冥王星型天体」には、冥王星のほか冥王星よりやや大きな太陽系外縁天体であるエリスがあるが、今後新たな発見や既知の天体の検討により、さらに増える可能性がある。

「準惑星」には上記の冥王星、エリスに加えて、小惑星帯のケレスが含まれる。準惑星の概念は太陽系の理解に必ずしも本質的でなく、高校までの教育のレベルを超えると判断されるため、その積極的な使用は推奨しない。また、分類名には過度にこだわるべきではない。

高等学校などでは、太陽系形成論を踏まえて太陽系の構造や天体の分類を紹介するとよい（外縁天体や彗星が惑星形成時の名残りであるなど）。

### 3. 本文（中学生向け説明資料）の解説

#### 太陽系とは？

夜空に輝く星々には、いろいろな種類のものがあります。自ら光り輝き、地球上の位置がほぼ動かない星は、恒星と呼ばれます。太陽も、恒星と同じ仲間です。一方、太陽のまわりを回りながら、太陽からの光を反射して光っているものがあります。例えば私たちの地球のような惑星や、長い尾を持つ彗星などです。太陽とそのまわりを回るこうした天体の集まりを、太陽系と呼びます。

夜空に水星、金星、火星、木星、土星という明るく目立つ星があつて、恒星が作る星座の間を動いていくことは昔から知られていて、その複雑な動きから、「惑（まど）う星」、惑星と呼ばれました。明るい5つの惑星の動きは昔から観測・研究されていましたが、天文学の発達や、17世紀に登場した天体望遠鏡によって、18世紀以降土星の外側に天王星や海王星、冥王星が発見され、惑星は地球を合わせて9つになりました。また、火星と木星の間には、惑星に比べてとても小さな天体（小惑星）が数多く発見され、太陽系には彗星も含めているいろいろな種類の天体があることがわかってきました。また、冥王星は他の惑星に比べてかなり小さいことも、はっきりしました。そして20世紀の終わりころ、冥王星の近くやその外側に、冥王星とよく似た小さな天体(太陽系外縁天体)がとてたくさんあることが、発見されたのです。

**解説** 冥王星は、1930年、アメリカのトンボーによって発見された。発見当初は地球よりも大きな質量を持つ惑星とされていたが、1978年に発見された衛星カロンの観測から、質量は地球の1/400（月よりも小さい）に過ぎないことがわかった。一方、1992年以降、海王星の外側に冥王星と似た太陽系外縁天体が多く発見されるようになった。2003年に冥王星よりも大きいと考えられるエリスが発見されるに至り、冥王星の分類を根本的に考え直す機運が高まった。

## 1．太陽

太陽は、自分で光を出して光っている星で、恒星という天体の仲間です。高温のガスのかたまりで、直径は地球の109倍、質量は33万倍あります。

**解説** 太陽はほとんどが水素のガスのかたまりで、中心部でおきている核融合反応でエネルギーを生み出している。表面温度はおよそ6000Kで、宇宙の中ではありふれたタイプの星である。

## 2．惑星

惑星は、太陽のまわりを回っていて、大きな質量を持ち、丸い形をしています。太陽系には内側から水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星の8つがあります。これらは、小型で主に岩石からできている地球型惑星（水星、金星、地球、火星）と、大型の木星型惑星（木星、土星、天王星、海王星）に分けられます。木星型惑星のうち木星と土星は多量のガスで覆われており、また最近の研究から、天王星と海王星は岩石のほか多量の水も含まれていると考えられます。

**解説** 国際天文学連合（IAU）では、惑星は次の3つの条件を満たすものと定義された。

- (a) 太陽のまわりを回っている
- (b) 質量が十分大きいと自己の万有引力で強くまとまり、ほぼ球形（流体力学的平衡の形状）になっている
- (c) その軌道の領域で他の天体を力学的に一掃している

この定義によると、冥王星は3番目の条件に該当せず、惑星ではないことになった。惑星についてのこの定義は、新しい観測と研究の成果を基本的に踏まえたものであるといっている。

しかし学問的に詳しく見ると、以下の問題が指摘される。定義(b)による「流体力学的平衡の形状」については、観測による判定が難しい。また、定義(c)は、木星や海王星の軌道近傍の太陽と惑星の重力がつりあう場所に小天体群が滞留し、惑星に近づくことがないためその重力で掃き散らされることなく残っている例（木星のトロヤ群、海王星のプルティーノなど）があることから、記述に不十分さがある。そのため今後細かな表現に工夫が加えられる可能性があるが、定義の大枠や8つという惑星数が変わることはないであろう。また、現在の教科書では、地球型惑星以外の4つの惑星は、ガスが主体の木星型惑星と表記されている。しかし、上記のように天王星と海王星は岩石のほかにも多量の水も含まれていることが分かってきた。そこで最近、木星



型惑星をさらに2つ(木星・土星がガス惑星、天王星・海王星が氷惑星 = 天王星型惑星)に分けることも行われるようになった。しかし天王星や海王星がほとんど氷でできているという説明は、正しくない。岩石の核があることに加えて、天王星・海王星軌道のあたりでは水はふつう氷となるが、天王星・海王星の内部では高温高圧のため、水はほぼ液体状と考えられるからである。

- 注1) IAU 決議により、上記惑星の定義の(a)、(b)は満たすが(c)を満たさない、かつ衛星でない天体を、準惑星 (dwarf planet) と呼ぶことになった。現在準惑星とされているのは太陽系外縁天体の冥王星とエリス、小惑星帯のケレスの3つだが、太陽系外縁天体にはすでに準惑星候補が複数ある。ただし準惑星は、前にも述べたように定義(b)の判定がやや難しく、また高校までの教育のレベルを超える概念であると考えられる。
- 注2) 同じ IAU 決議により、太陽のまわりを回っている惑星・準惑星・衛星以外の小さな天体は、まとめて太陽系小天体 (small solar system bodies) と呼ぶことになった。
- 注3) 惑星及び関連する決議等については、以下の Web サイトに資料・解説がある。

国立天文台 : <http://www.nao.ac.jp/info/20060824/index.html>

日本学術会議 : <http://www.scj.go.jp/index.html>

### 3 . 太陽系外縁天体と冥王星型天体

海王星の近くや外側を回っている氷などでおおわれた小型の天体を、太陽系外縁天体と呼び、すでに 1000 個以上見つかっています。太陽系外縁天体のうち、直径や質量がある程度大きくて丸い形をしたものを、冥王星型天体と呼びます。冥王星型天体の代表である冥王星の直径は、約 2400 km です。太陽系外縁天体はとてもたくさん存在し、冥王星の軌道の 10 倍以上も遠くまで広がっていることがわかっています。

**解説** 太陽系外縁天体 (TNO : trans Neptunian object = 海王星以遠天体の意味) は、日本ではこれまで EKBO(エッジワース・カイパーベルト天体)、あるいは単にカイパーベルト天体と呼ばれていたものを指す。

冥王星型天体は、太陽系外縁天体の中で大きなものに対応する新しい天体カテゴリーで、2006 年の IAU 総会で決議された。英語名称は検討中である。

注) 日本では太陽系の惑星の覚え方として、「水金地火木土天海冥」という語呂合わせがあった。今回の新しい定義・分類で「水金地火木土天海」という形に変わったといわれるが、むしろ外側に大きく広がった新しい太陽系像を

伝えるため、従来どおり“冥”まで入れる語呂を使い、“冥”はまだ天体が  
どんどん発見される領域であり、太陽系はもっと広がってゆくという話題に  
ふれてみるのも、良いかもしれない。

#### 4．小惑星

小惑星は、主として火星と木星の間に存在し太陽を回っているたくさんの  
天体で、大きさも成分もさまざまですが、岩石が主体です。大きさでいうと、  
最も大きなケレスでも直径は950kmで、一番小さい惑星である水星の5分の1  
しかありません。

#### 5．彗星

彗星は、ほうき星とも呼ばれます。太陽のまわりを円に近い軌道で回る惑  
星と異なり、長いだ円の軌道を描いて遠くからやってきてまた飛び去る、小  
さな天体です。とても細かい砂のような粒を含む氷が主成分で、太陽に近づい  
て氷が蒸発してガス化して広がったり、このガスや微小な砂粒が太陽からの  
光などで吹き流されて尾を引いたりしているものを言います。彗星のなか  
には、太陽や地球のすぐ近くまで接近するものもある一方、木星のあたりまで  
しか近づかないものもあります。彗星のものは、外のほうの太陽系外縁天体  
や、もっと遠くの、まだ見つかっていないオールト雲からやってくると考え  
られています。

#### 6．衛星

衛星は、自分よりも大きな惑星や小惑星などのまわりを回る天体です。月  
は、地球のただ一つの衛星です。質量の大きな木星型惑星のまわりには、た  
くさんの衛星が見つかっています。その中には、木星の衛星ガニメデや土星  
の衛星タイタンなど、水星より大きいものもあります。

**解説** 小惑星が集中するのは火星と木星の間の小惑星帯(メイン・ベルト)で、  
惑星にまで成長できず、逆に互いの衝突で小さく壊れてしまったものが多い  
と考えられている。

彗星の「核」と呼ばれる本体は、「汚れた雪玉」と表現されるように、ごく小  
さなものを含めた岩石質の粒子やさまざまな有機分子を交えた氷が主体で  
ある。蒸発したガスが核を包む大きな八口を作ったり、ガスと細かな砂粒(=  
ダスト、塵)が太陽の光圧と太陽風に吹き流されて尾を形成したりすると、

彗星と呼ばれる。周期彗星には、公転周期が5~6年くらいの短周期彗星や、200年を超えるような長周期彗星がある。長周期彗星の中には、太陽系をおよそ1光年（地球 太陽間の数万倍）の半径で球殻状に取り囲むオールトの雲と呼ばれる領域からやって来ていると考えられるものがある。また、太陽付近で惑星などの重力で加速された結果、太陽系を飛び出して再び戻ってこない彗星も多い。

また、木星、土星などの衛星は、今も盛んに発見されている。

## 7. 流星と隕石

太陽のまわりを回っているととても小さな砂粒のようなものが、地球に飛び込み、地球大気とのまさつでガスとなって光るのが流星（「流れ星」ともいう）です。大きなかたまりが地球に飛び込むと、大気中で燃え尽きずに地表に落ちてくる場合があります。これを、隕石と呼びます。彗星からは尾とともに小さな砂粒などが大量に飛ばされ、これが彗星の通り道を動いています。このような彗星の通り道を地球が横切ると、たくさんの流星が観測されます。これが流星群で、しし座流星群、ペルセウス座流星群などが有名です。

**解説** 彗星から放出された砂粒のような粒子は、母体の彗星が描いている軌道上を公転運動する。大きさは0.1mmくらいから数cmくらいまでさまざまだが、密度は小さいものの地球の造岩鉱物と基本的な組成は似ているらしい。これらが地球大気に突入すると、高速のため大気との摩擦により蒸発して、高温のガスになる。流星は、この高温ガスの発光で光って見える。

### 【補足】

IAUの定義に従い、太陽と惑星・衛星以外の太陽系の天体を、次のような天体種類名で分類することも可能である。ただし先に述べたように準惑星は定義になお曖昧さがあり、太陽系形成論の観点からも、ケレスと冥王星・エリスが同じ分類になることに対して議論の余地がある。そのため、この分類の使用は、学校等では推奨しない。

**準惑星**：太陽のまわりを回っている、惑星より小型だがある程度大きく、

自己重力で球形となっている天体。ただし衛星は除く。現在、ケレス、冥王星、エリスの3つ（他にも候補がある）。

**太陽系小天体**：太陽、惑星、準惑星、衛星を除く太陽系のすべての（小さな）天体の総称。

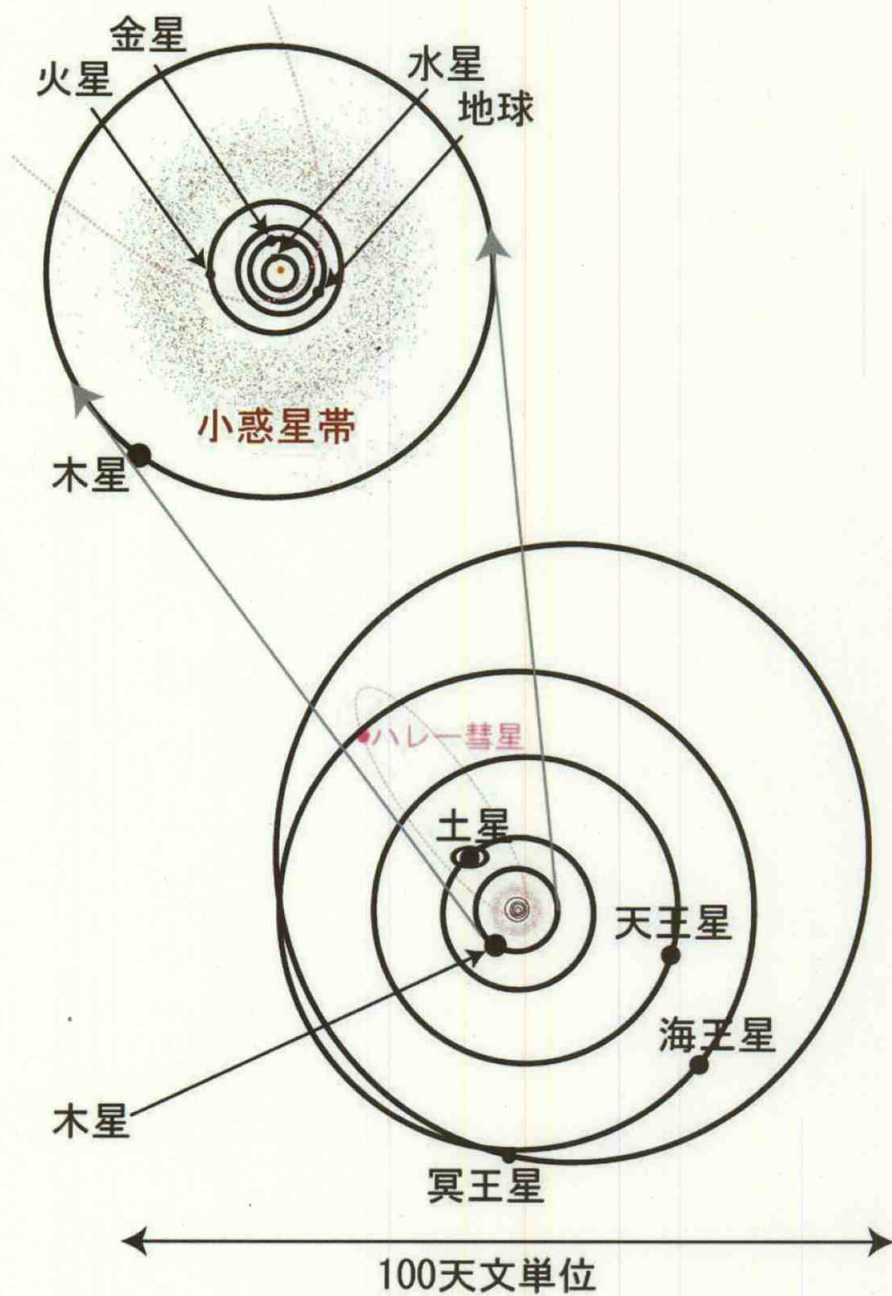


図1 これまでの太陽系像 天体の位置や軌道を黄道面(地球の軌道面)に投影した図。図中の惑星の大きさは正確ではない。9つの惑星(黒)と小惑星(茶)、彗星(ピンク)が主なメンバーと考えられてきた。小惑星と同様、彗星の数も非常に多い。代表としてハレー彗星のみを示した。惑星(冥王星を除く)の軌道は、ほぼ同一平面上にある。1天文単位は、地球-太陽間の距離である。

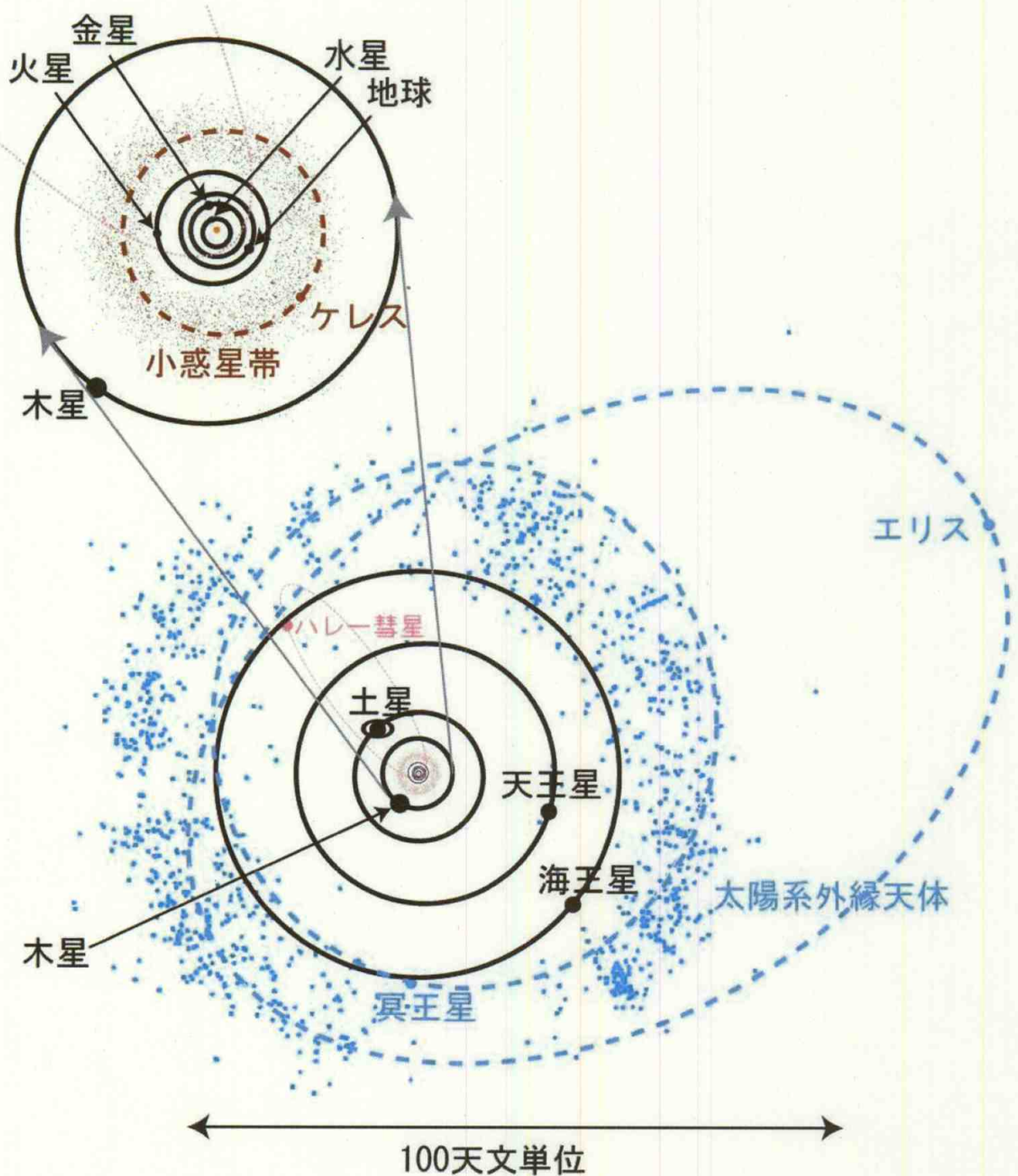
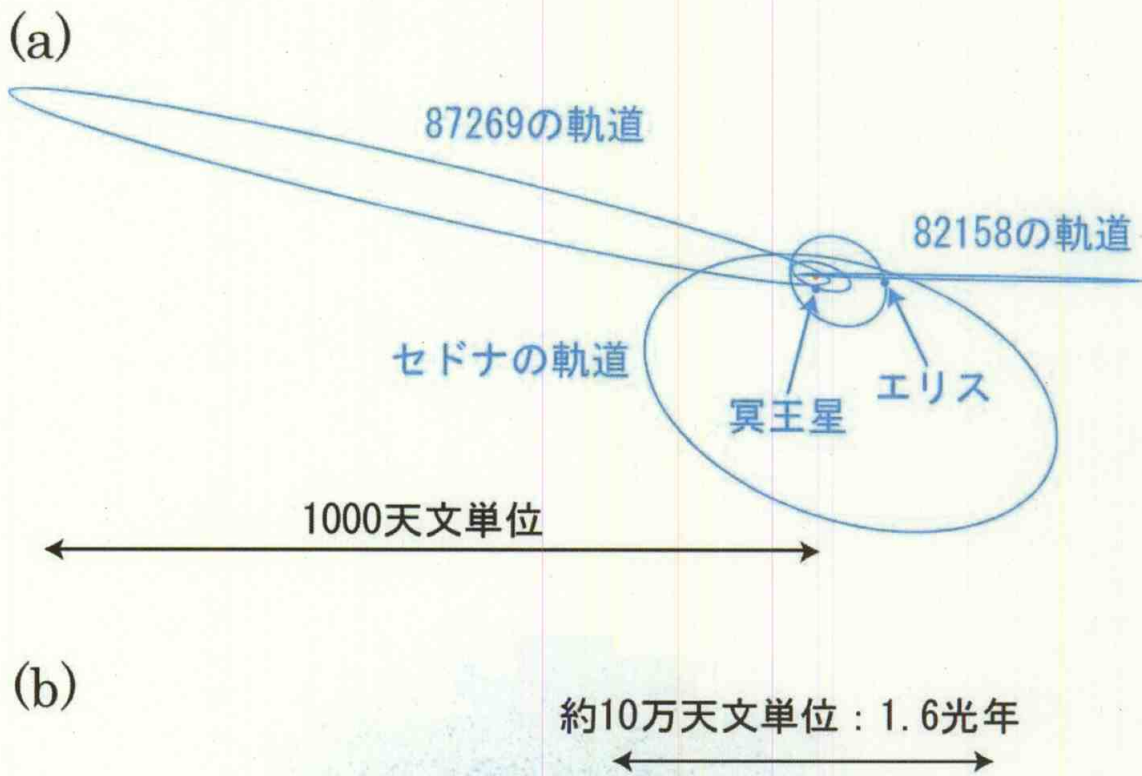
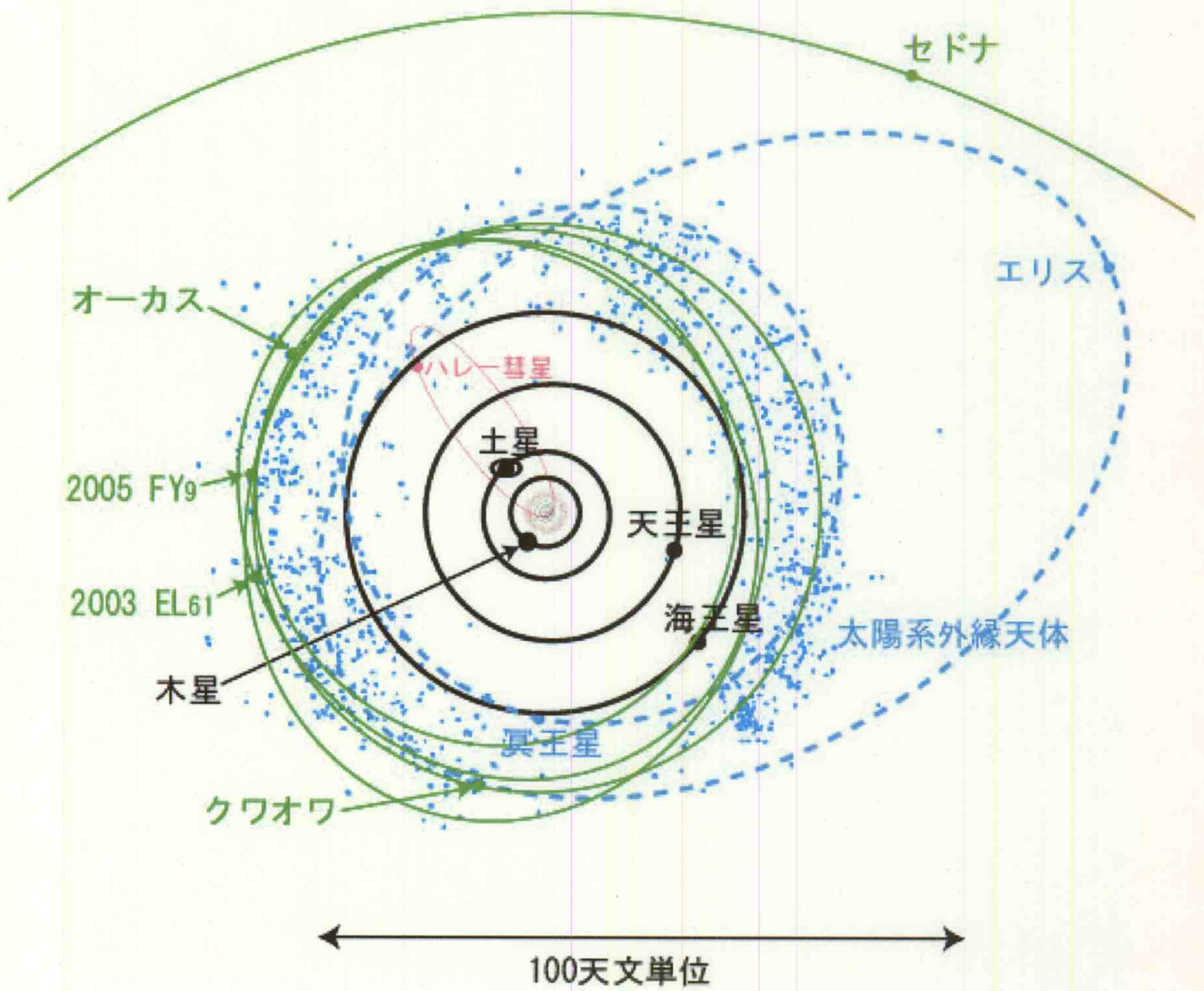


図2 新しい太陽系像 縮尺は図1と同じ。「水金地火木土天海」の8つの惑星(黒)の軌道は、ほぼ同一平面上にある。他の天体の軌道は、必ずしもこれと同じ面上にはない。3つの準惑星の軌道は破線で描かれている。この内、ケレスは小惑星(茶)に、冥王星とエリスは太陽系外縁天体(青)に属する。外縁天体に属する準惑星を「冥王星型天体」と呼ぶ(現在は、冥王星とエリス)。外縁天体の中には他にも大きなものが幾つかあり、今後の観測で「冥王星型天体」に分類される天体は増える可能性がある。

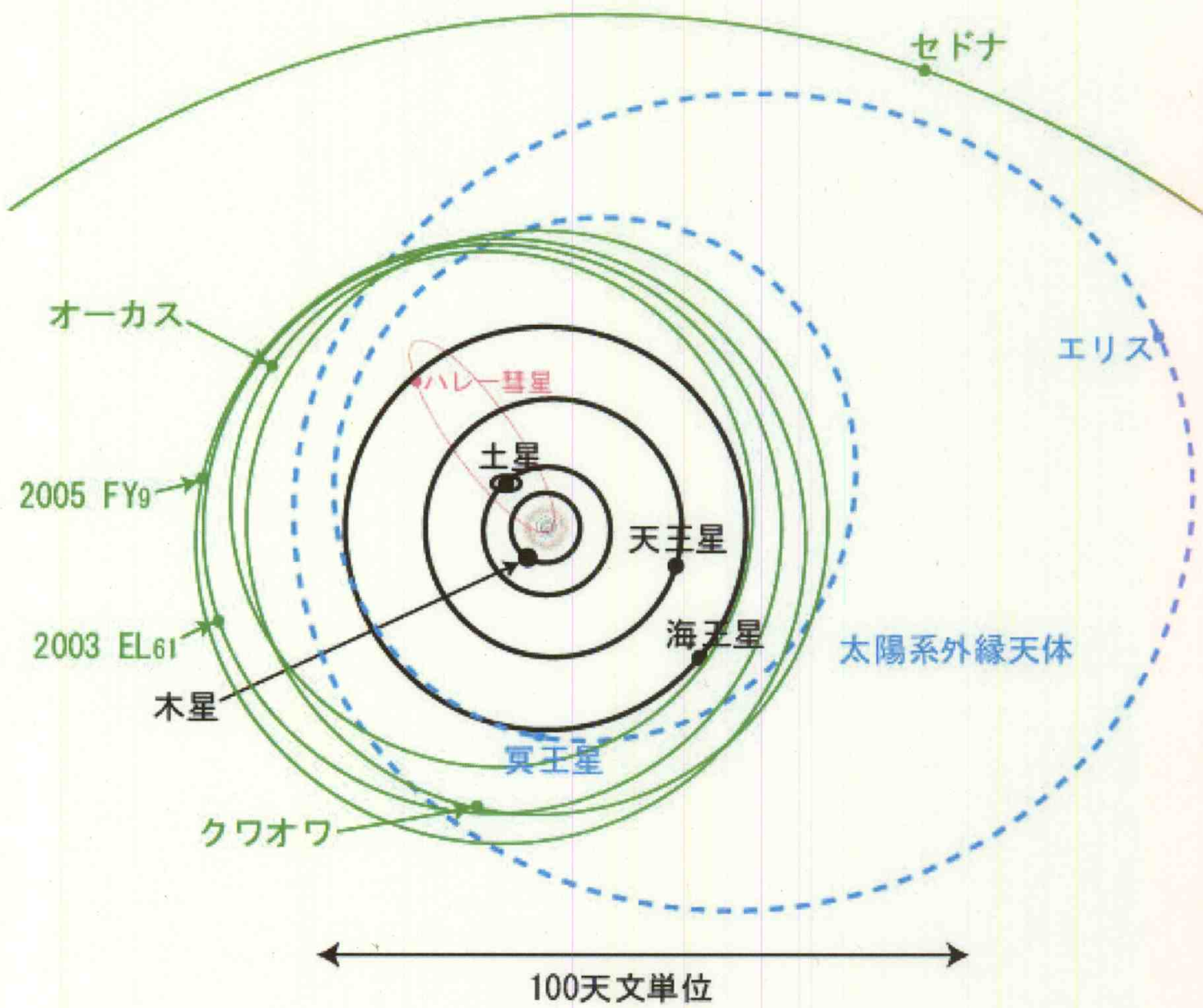


オールト雲のイメージ  
(Courtesy Calvin J. Hamilton)

図3 さらなる広がり (a) 特に大きな軌道半長径をもつ外縁天体の軌道を黄道面から測って30度の方向からみた図. (b) オールト雲のイメージ. 長周期彗星の軌道の分布から推定された天体の集まりであるが、まだ発見はされていない. (a)で示した軌道もこの図では中心の一点と見分けがつかない(参考のために実際の20倍のサイズで描いてある). 外縁天体の分布はオールト雲につながっているのかも知れない.

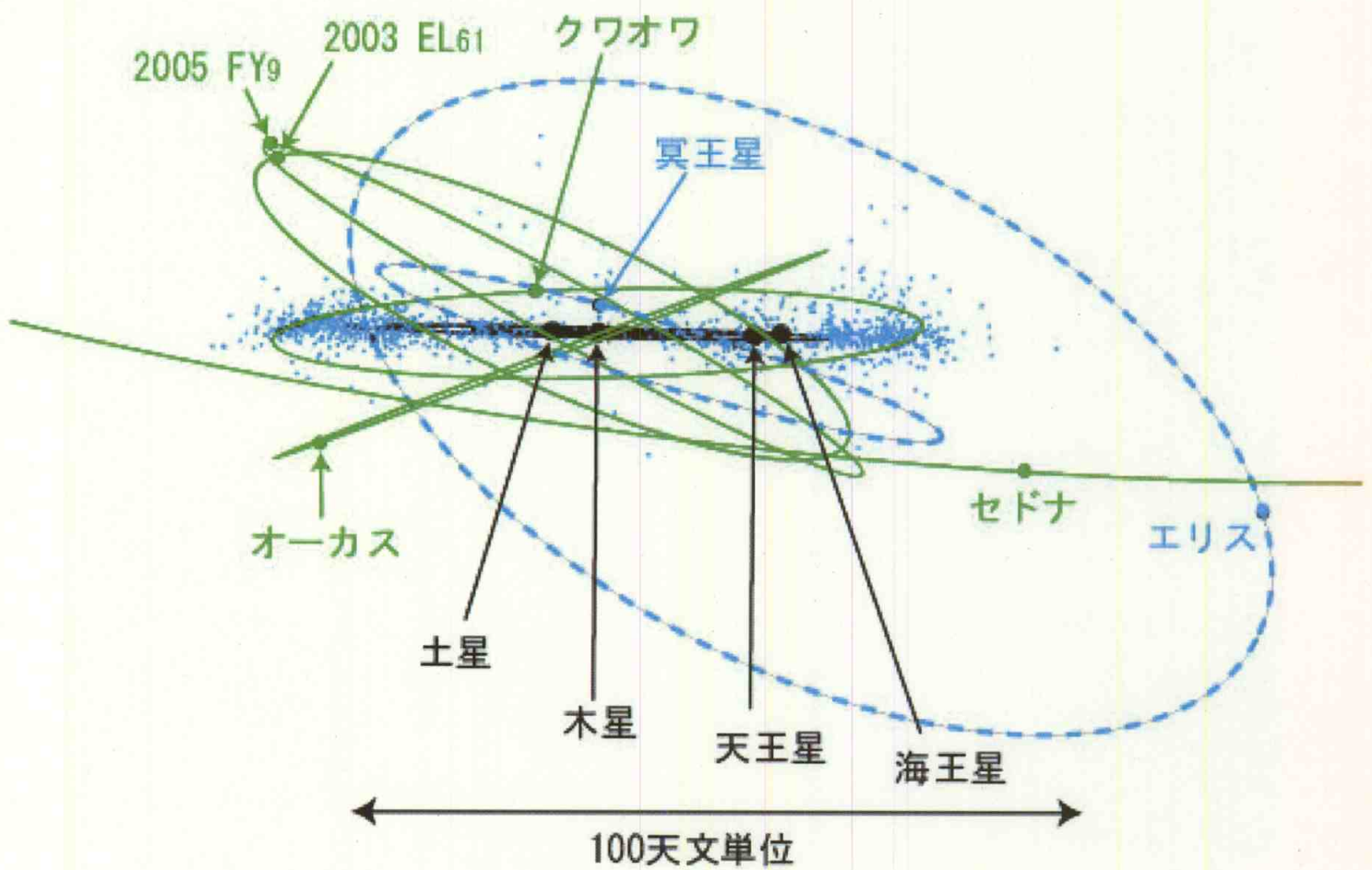


補足図1 図2と同様。ただし直径1000km程度以上と思われる外縁天体の軌道を付加した。(黄道面に投影)



補足図2 補足図1と同様。ただし各軌道の傾斜角をゼロとして黄道面に置き、また小さな外縁天体の位置（点）を除いた。（黄道面上の図）





補足図3 補足図1と同様。ただし黄道面に沿って(横から)見た場合。  
 太陽系は全体として、内側は平たく一つの面内にあり、外へ行くほど上下にも大きく広がるのがわかる。