

*With the author's compliments*  
*S. Nakamura*

宇宙科学における惑星地球

DAWN OF THE PLANET EARTH IN SPACE SCIENCE

中村 重久  
Shigehisa Nakamura

2012年2月11日 R

書誌資料

Documentation

書名- 宇宙科学における惑星地球  
Title- Dawn of the Planet Earth in Space Science

著者- 中村重久  
Author- Shigehisa Nakamura

著作権- 中村重久 (非売品)  
Copy Right- Shigehisa Nakamura (NOT FOR SALE)

出版年月日- 2012年(平成24年2月11日)  
Published - 11 February 2012

著者略歴-Autobiography

1933年(昭和8年) 長崎県出身-Birth-Nagasaki  
1958年(昭和33年) 京都大学理学部卒業-BSc, Kyoto University  
1963年(昭和38年)まで 京都大学大学院理学研究科在学-MSc & DSc-Candidate  
1963-1997年- 京都大学在職- engaged-Kyoto University  
教育研究-(Education and Research)  
1971年- 京都大学工学博士-DEng(Kyoto University)

1983年-日仏学会賞受賞

著書- 陸棚沿岸の台風高潮-1994  
地震津波資料余滴-1997

関連学会等-

Electromagnetic Wave Society, Fellow  
Royal Meteorological Society, UK, Fellow  
European Geoscience Society, EU, Member  
Pacific Ocean Science and Engineering Conference, Life Member  
American Geophysical Union, USA, Life Member  
(Formerly, Member, Oceanographic Society of Japan)  
(Formerly, Member, Franco-Japanese Society de Oceanographie)  
(Formerly, Member, The Tsunami Society)  
(Formerly, Member, Japanese Society of Civil Engineering)  
(Formerly, Member, American Society of Civil Engineering)  
(Formerly, Member, International Association of Hydraulic Research)

## はじめに

本文は、宇宙科学における惑星地球について、その要点を述べる。

ここで、沿岸海洋科学の意義も明らかにしておく必要がある。また、近年、米国の学術的出版物にも、昭和 20 年には機密資料であった海洋潮汐資料が、公表されるようになった。永い年月を経て、その歴史的な資料を、科学的な見地から検討が可能となった。

ただし、これに関連して、その当時の状況についての記述が必要であると考えられる。昭和 20 年 8 月以降、日本では、政府は、その機能を失った状態となり、残された大学等の関係者が、随時、食糧を確保し、地震や台風による災害を防止することにより、荒廃した国土の回復を願って、活躍していた。おそらく、当時の情勢から判断すると、この活動への対価も無償の状態であったことは間違いない事実である。

広島原爆被害調査にあたった京都大学の調査隊は、枕崎台風が広島を直撃された。山の樹は、それ以前に、燃料として消え去り、山肌には表土があらわれ、緑がない状態となる。台風は洪水を呼び、人々の生活は困窮を極めていた。地震は、津波を伴い、沿岸域の住居や家財道具を流失させ、人心は荒れ果てていた。

それでも、日本の国内では、復興の動きが認められ、また、国際的には、南極観測にも参加できる状態になるまでの大変な努力があった。国民すべてが、協力した時期があった。

おそらく、2012 年の、現時点においては、そのころの事態を理解することは不可能と言ってよいであろう。すでに、当時の主役であった関係者も、ほとんど、この世を去り、また、当時の状態を偲ばせる痕跡も、あらかた、消滅している。

それから、60 年余の時が経過した。一時は、世界中の各国の援助もあり、時代の流れにしたがって、経済成長の時期を経験した、政治や経済も、独立国として、国際的地位獲得に至るところまでになった。ところで、1990 年代には、経済的に、国際的なバブル崩壊の影響によって、国際社会の経済にかげりのきざしがあらわれた。最近の 20 年は、世界のあちこちで、これまでの、世界情勢とは異質な混乱が発生している。

2011 年には、日本においては、3 月 11 日に、東日本地震が発生し、その被害は、甚大なものとなった。この被害によって、ある地方自治体の役場が、地震に伴った津波によって甚大な損壊をするという事態となり、このような被害の復旧には、かなりの年月を要するものと考えられる。また、9 月 3 日には、紀伊半島の地域を、台風 12 号が襲い、世界遺産である本宮大社および那智勝浦の河川における JR 西日本の運用している鉄道の鉄橋が損壊した。

このような年があけて、2012 年になると、2 月には、日本の東北地方には、例年の冬と違った、異例の気象条件となり、最近の年にはみられなかった大雪が降る結果となって、積雪による障害が発生して、交通および一般市民の生活に障害を及ぼし、除雪作業時の犠牲者も、すでに、60 余名となっている。

このような日本の周囲は、国際的にみても、かつてない世界経済の危機にあり、国際的経済戦争の末期的症状を目の当りにしている感である。

ここで、昭和 19-20 年における米国の情勢をうかがわせる資料の一端を添える。

ここでは、その後の、日本に、現在の宇宙関連の科学技術研究が世界的に評価されるに至った情勢と背景とを示すことにしたい。

元 京都大学防災研究所  
白浜海洋観測所長

2012 年 2 月 11 日

## 1. 序論

本文は、宇宙科学の進展の時代に、惑星地球科学の夜明け前について、どのようなことが、日本の周辺で、認められたのかについて記述しようとしたものである。

しかし、いざ、文章として表わそうとすると、どこに焦点を置くべきなのか、いささか、判断に困難なところもあることが明確になってくる。それは、当初に、意図した構想には、多様な要因が関連していると考えられるからである。

記述を簡潔にすることに努めたいが、また、一方において、できるだけ当時の日本周辺の事情も付け加えて、記述することとしたい。

できることならば、Newtonの力学の起点となった“リンゴ”の話から、太陽系の惑星の軌道についてのKeplerの法則などのエピソードを取り入れたいが、あわせて、地球上の沿岸において見られる海洋潮汐の問題について、基礎的なことから、その応用にいたるまで、述べることも必要であろう。

このような問題を述べるにあたり、多数の人々の関わりがあったかという点にも留意し、詳細な記述で、いずれにおいても、誤解の無いようにしたいとも考える。

ところで、著者が、この本文において、上記の諸問題を完璧に明示することは、不可能であると判断される。それでも、なお、関係の研究や問題にたずさわる諸賢には及ばないような知見を記して参考に供することも、あながち、無益なことではあるまいと、この様に考える面も存在することが事実であることを否定することはできない。

このようなことで、体系的な記述として、完成したものではない形式の記述をしなくてはならないことになる。とりあげる問題なども精粗混淆ということになってしまうということがあっても、致し方ないという側面もある。

客観的であろうとして、主観的な面も混在するということになることは必定である。

こんなことであれば、Henri Poincareの潮汐理論にまで言及することになりそうであるが、海洋潮汐の問題では、地球表面の70%が海洋であり、陸地と海洋との間に存在している海岸線は、複雑な形状をしている。気象学における潮汐の問題に比較して、数学的な手法を活用することは、それほど簡単なことではないようである。

地球表面は、地殻に覆われて球形をしている。かつて、地球が、この宇宙に生まれた時には、現在の太陽のように、表面は、固体ではなかったである。このような地球内部構造の問題には、海洋は関連が無いように見えるが、その事実を明らかにすることは、それほど簡単なことであるまい。

地殻をみても、地球が生まれてから現在までの、47億年の時の経過を究明することが、必要であっても、それほど簡単ではない。その経過についても不明な点が多い。

Wegenerは、気象学者として知られていたが、大陸漂移説について述べている。当初は、この大陸漂移説には、科学的な根拠は無いとされてきたようであるが、地質学的な研究の成果によれば、肯定的な解釈が成立することになり、現在では、この説を批判するようなことはないようである。しかし、このような場合、海洋潮汐は、一体、どのようなことになるのであろうか。もしかすると、地表には、水の存在がなかったということになるのであろうか。あるいは、太陽のように、原子量の小さい水素やヘリウムが、地球の構成要素であったのであろうか。

現在のところ、永い時間スケールの、地質学的な問題は、地表下の近くの構造との関連問題と密接なものであると認められているようである。地球の歴史のうちでも、地殻形成過程の情報が、地殻を構成している岩石に存在していると考えられている。地質構造調査によって、地下資源の存在は探知でき、さらに、人類の知識と知恵とは、地下資源を採掘して利用するまでになっている。この地下資源としては、石油など、人類の生存に有益なエネルギーがある。そのエネルギーの問題が、現在では、重要である。その背景として、人類のエネルギー利用の歴史の一部が、海洋潮汐科学の夜明け前を知ることが必要である。

## 2. 原子番号

地球が生まれた直後の状態については、情報が得られていない。それでも、天文学の分野において得られている天体についての情報を参考にすると、地球の生誕時の最初の状態は、太陽のような状況であったのではないかと考えられる。ただし、現在の太陽には、水素とヘリウムの原素があるとされていて、しかも、水素の原子は電離状態であり、つねに、核融合と核分裂が繰り返されていると考えられている。地球の場合には、初期に存在した元素の原子の核反応がすすみ、宇宙へ放出するエネルギーが大きくなり、地球表面における熱エネルギー放出による急速な温度低下とともに、原子番号が、水素よりも大きい番号の元素が認められる状態となっていたものと推測される。すなわち、初期の元素原子の核融合が顕著に認められる状態へと移行する。地球におけるエネルギーの一部が宇宙に放出されることによって、核分裂エネルギーは抑制され、地球においては、さらに原子番号の大きい元素原子の出現が進行することになる。その過程において、安定元素原子の出現が何回か反復して認められる可能性がある。

このようにして、地球上に、炭素、窒素、酸素という元素原子が出現することになる。フッ素 F の出現には、リチウム Li(lithium)とベリリウム Be(beryllium)、それに加えて、ホウ素 B(boron)の出現をまたなくてはならない。

地球上の自然現象として、上記のような過程が必要であったとすれば、太陽系における地球の形成と地球を構成している元素とが出現するためには、初期における水素の核融合と核分裂との後に、核分裂反応の抑制が、自然現象の一環としてあらわれなくてはならないことになる。

このような自然現象で、地球において形成された元素は、おそらく、原子番号 82 に位置つけられている鉛までであり、自然放射性元素は、原子番号 88 のラジウム発見が最初であろう。ちなみに、鉛は、人類の歴史において、有史時代初期において、すでに、人類が利用している。

ラジウムの発見は、ポーランドの Warshawa 生まれの女性 Scrodfska であった。彼女は、パリのソルボンヌ大学に学んで、物理学者 Pierr Curie と出会い、Curie 夫人となる。この Curie 夫人は、当時の実験室内で、机上の X 線フィルムが位置を変えないようにするために、そばにあった石を素手で持ちフィルムの上に置いて、外出した。実験室に戻った彼女は、そのフィルムが感光していることに気が付いた。そこで、この感光の原因には、その石の持っている放射線(radiation)の作用であると考え、放射線源となった石の構成成分に、放射能を持った物質があるものとし、その物質をラジウム(radium)と名付けた。

この例のように、原子番号の大きいものは、地球上では、比較的微量であり、放射性物質の存在もわかっていなかった時期には、自然放射性物質の取扱いにおいて、2012 年の、原子力発電所のような人体への放射線障害などは不明なために、不思議な石があるという程度の認識に過ぎないものであったものと思われる。

現在では、いずれの元素にも、放射性同位元素が存在することが知られている。それからみれば、1898 年、元素ラジウムの発見のころには、人工放射性物質を人類が利用することを考え、そのために、人工的な操作によって、元素原子の核分裂および核融合を活用することが可能なものになるとは考えることもできなかったであろうと思われる。

現在では、核エネルギーを利用して、原子力発電も可能になっているが、核エネルギーの利用にあたって、核反応の制御が技術的に可能でなくてはならない。

核兵器の保持と利用の凍結により、人類の存続の可能性にも緊急の事態は避けられよう。もし、放射性物質の平和利用においても、その管理保全の管理体制に科学的に需要を満たしても、技術行政に脆弱なところがあるかぎり、それにとまなう行政責任が果たせなければ、人類にとって最大の不幸な事態となる。

### 3. 物理学から地球物理学へ

ここで、明治時代以来の自然科学のうちでも、とくに、物理学と地球物理学との間柄について、少しばかり、述べておきたい。

明治政府は、文明開化の名のもとに、欧米の事情を視察したのち、東京に国立の大学を設置することにした。国政に関連した法律については、英、独、仏の法律を参考にしたと言われている。

一方、自然科学に関連して、理科大学(現在の理学部)の高等教育のために、御雇教師として来日した Miln は、東京に着任すると同時に、“東京では地震が頻繁に起こる”ことに、強い関心を抱き、地震学が第一であると彼自身の所見を述べた。このような事情より、東京には、先ず、地震学教室が設けられた。現在では、明治三陸津波として知られている大地震が契機となって、政府は、その事後処理の一環として、震災予防調査会を設立した。過去の地震史料収集が主目的であった。地震の問題が一段落したところで、この調査会は、東京大学理学部地震学科となったことは、御雇教師の意見を強く反映しているようである。ところで、物理学の一分科として地震学を見ると、その当時の、地震学は、古文書解読に時を費やし、街中では、古い筆書きの“かきもの”を読むのが仕事と蔑視されていた。

1900年代になると、東京では、物理学の分野でも、欧米と同様な論文が認められる様になっている。ちなみに、長岡半太郎は、原子の構成として、核と電子とを基本とした例を示したが、同様な研究は、Rutherford の論文にも記述があった。それぞれ、独自の発想であったと推察するが、両者の間に、文通をしていたことも、資料には記載されている。現在では、原子構造は、常識であって、上記の研究については、とりたてて語られることはない。長岡は、1929年には、流星群によって上層大気の電離状態が異常を起し、無線通信に影響を与えるであろうと論文でのべている。このことは、難波棲吾・前田憲一が、1940年に出版した著書“電波伝播”にも記されている。

長岡半太郎が、東京で、物理学の講義を担当していたころ、寺田寅彦は、学生として、在学中であった。寺田寅彦の文才は、随筆において世間に迎えられた。それは、自然科学を、一般市民にも読みやすい平易な文章による巧みな表現によるところが大きかったものと考えられる。寺田寅彦の講義を受けた同期生は、1930年代に、大学の教育研究の場で、その後、活躍をすることになる。現在、高知市内に、寺田寅彦記念館がある。

たとえば、日高孝次は、岡田武松の推挙により、神戸海洋気象台で、海洋気象観測研究にあたり、また、宇田道隆は、水産講習所(現在の東京海洋大学)で、水産物理学を担当し、中谷宇吉郎は、北海道大学で、雪の研究をし、三宅泰雄は、東京教育大学で、放射化学を担当していた。昭和17年に、日高は、東京大学で新設の海洋学講座の担当として、地球物理学教室に入る。宇田は、広島において、一家、原爆の被害にあい、東京に移ったが、昭和21年には、日本の天気予報の改善を目的として、長崎海洋気象台初代台長に着任、長崎の原爆についての気象学的調査にも尽力している。その後、太平洋における水爆実験のあと、宇田および三宅は、海洋物理学および海洋化学の分野を担当し、米国の水爆実験の追跡洋上調査に従事した。中谷は、北海道大学で、低温科学研究所設立に参画し、さらに、オホーツク海沿岸の流氷観測の基礎を築いた。中野猿人は、昭和初期の中央気象台で海洋気象の分野の研究をした。油壺周辺の隣接したふたつの湾で生ずる連成共振や鳴門海峡の渦潮の研究など、流体力学の問題として、古典力学的な手法で解を導いている。

寺田寅彦は、物理学の一部として、気象学を担当していたようであり、理学部所属学生の指導を担当するとともに、航空研究所における役割も果たしていた。地球物理学教室が、東京にできるのは、おそらく、昭和17年の海洋学講座創設の時期であろう。

1930年代ころ、東京では、近藤次郎が航空機の研究にあたる。友近晋は、G.I.Taylor の門を叩き、京都で(1950年頃)、流体力学の講義では、航空機の翼の理論を講じた。

### 3. 地球物理学と宇宙物理学

ところで、日本では、京都大学は、宇宙物理学の名を、教室の名とした最初の例である。

日本で、物理学から宇宙物理学が分離された、そのころ、京都に来訪した Einstein は、相対性理論の講義をした。Einstein を京都市内の案内役をしたのは、化学を専攻していた西堀栄三郎であった。聞くところによれば、彼は、西堀との問答に、“なにごとも、実行することが大切だ”という趣旨の答があったと伝えられている。

その西堀は、京都大学学士山岳会に属して、雪氷登山の経験を学術的研究にも関連した問題と判断をするようになった。のちに、南極越冬観測隊長に指名される。

昭和初期、宇宙物理学は、天文学とは異なり、新しい学術的に最先端の分野であるとの認識にたった構想で実現した名称であった。しかし、荒木駿馬の著書名は、天文学である。つまり、天文学でなくては、世間は通用しない日本であった。それに、その著書の内容は、膨大なものであったが、Henri Poincare の“Dynamique Celestes”の邦訳が主要部分で、教育を目的としたものとしては、当時、国内では、比類のないものであった。けれども、そのころ、欧米の状況が分かりにくい時期であり、止むを得なかった考えても的外れではないかもしれない。しかし、日高の自伝によれば、物理学の先端分野での量子力学に魅力を感じながらも、海洋学を選択しなくてはならなかったということのようである。

一方、Gallitine の地震計を携えて、志田順が、東京から京都へ着任し、京都大学の物理学教室から、分離された地球物理学教室の創設にあたることになる。京都大学においても、志田順は、地震学の専門とされているが、東アジアの気候学的研究を論じている。また、京都においては、野満隆治が陸水学および海洋学において理論的な研究をしている。野満の理論について、若き日の日高(当時、神戸海洋気象台)が批判を加え、学術誌上の論争は、激烈を極めたという後日談も残されている。

そのような経過のなかで、長谷川萬吉は、Gauss の母校である Gettingen 大学において、IPY(国際極観測年)に得られた世界中の地磁気観測データの解析をし、観測記録でも磁気嵐などの擾乱の無い場合、すなはち、太陽が静穏な時の 1 日周期の磁気変動があることを示した。この変動は、地球の主磁場とは関係がないもので、太陽活動に関連しているものであって、太陽静穏時日周変化(Magnetic variations on solar quiet day)として、“Sq”の記号で表わされた。1930 年代の地球磁気学の理論的権威であった Sydney Chapman は、この Sq の計算法“Hasegawa Method”を、著書“Geomagnetism”において紹介した。

昭和 30 年代には、東京から永田武が、頻繁に、京都にきて、長谷川と相談していた。ひとつは、欧州における国際会議で、オブザーバーとして日本から出席して、南極観測の国際的事業計画に参画することが採択されたことに関連した打合せであったようである。最初の南極観測隊の隊長は永田と決定された。ここに、第 1 次南極越冬隊の隊長の選定が課題として残されていた。指名されたのは、西堀であった。

速水頌一郎は、陸水学および海洋学の専攻で、その当時の、上海自然科学研究所に入り、とくに、黄河および揚子江の研究を担当した。昭和 20 年 8 月には、研究所の解体により、速水は、京都へ戻り、陸水学および海洋学の講座を担当となった。上海に在任中における速水の研究成果は、当時の、中国政府からも高く評価され、1950 年代には、中国へ学者として招聘された。しかし、当時の日本では、京都にあっても、食糧難であり、それに、台風高潮や地震津波による沿岸域の被害がかさなって、社会的にも安定しているとは言えない状況にあった。海洋物理学が担当の速水は、海洋動物学が担当の宮地伝三郎と連携し、沿岸海域の海水流動と海洋資源との関連を研究して、当時の社会的な要請である食生活と災害防止との応えようと努力した。当時の社会的要請が背景となって、速水を中心として、災害の研究がはじまった。当時の建設省の矢野勝正は、理学部の特別講義の一環として、河川洪水の理論についての講義をした。和歌山県沖には海洋観測塔が設置された。

#### 4. 天体としての地球

現業の面では、沿岸における海洋の変動として日常的な現象は、天文潮である。海洋潮汐の予報には、気象庁は Darwin 法を用い、海上保安庁は Doodson 法を利用した。このために、両者の予報で、たとえば、満潮について、潮位の高さと時刻とが、数値的にずれることが、過去において、認められた背景には、この様な事情がある。

さて、惑星としての地球を考えることとしよう。地球は太陽系に属する惑星であって、太陽のまわりを、1年で一周している。時刻の定義にしたがえば、現在のところ、ここでの1年は、365日と考えて、日常生活では、差支えない。しかし、自然現象の問題を対象として問題を考えるときには、地球の形状や地球の自転の角速度も考慮する必要がある。

地球は、太陽の近地点あるいは遠地点とする楕円軌道を描いて周回している。太陽と地球の間における萬有引力の効果を考慮すると、地球表面が海洋であったとすると、太陽と地球を結ぶ線上で、海洋の水への萬有引力の効果は顕著に表れる。球形に近い固体としてみた地球への萬有引力の効果は顕著ではないが、その効果による地球の形状のひずむ特徴はよく似てはいる。地球が太陽の面した側の海面は大きく太陽に近寄る。これが、太陽の存在によって生ずる太陽潮汐である。地球の自転は、およそ24時間であるから、1日を24時間とすると、太陽潮汐の最高は1日に1回発生する。このことは、太陽潮汐の最大は1日に1回、太陽からみて、地球の裏側にあらわれることになる。

さらに、地球の周囲を月が周回している。くわしくみれば、周回軌道は楕円形であるが、概略の特徴は、周回軌道は円形であるとして考えればよい。この月は、天体としてみれば、地球の衛星である。この月と地球とのあいだの萬有引力の効果は、月の自転周期が27.32日であり、地球の暦の1か月、すなはち、およそ30日に近いことにより、概略の特徴として、1か月に2回だけ、地球海面の最高潮位があり、これに対応して、最低潮位の発生も、1か月に2回ということになる。

太陽と月の影響が顕著であるために、地球上においては、1日1周期の海面昇降および1日2周期の海面昇降があらわれる。実際に、世界中の、港湾において、海面昇降を観測すると、その現象の意義が理解できるであろう。このことは、地球表面の70%が海洋であり、残りの30%が陸地であって、陸地と海洋との境界である海岸線がどれだけ複雑であっても、基本的には、認められる事実である。

ちなみに、現在の、天文学関連学会の科学者の間では、国際的に、太陽系における惑星の構成は、内惑星群と外惑星群とからなっているとされている。この内惑星というのは、水星および金星という地球よりも太陽に近い惑星のことを内惑星と呼ぶ。さらに、太陽からみて地球よりも遠くにある惑星、すなはち、火星、木星、土星、天王星、および海王星は、外惑星と呼ばれる。

太陽系を構成する惑星のうち、水星および金星は、そのまわりを周回する衛星をもっていない。地球の衛星は、月だけである。外惑星群に属する惑星は、いずれも衛星をもっている、すなはち、火星の映衛星は Phobos および Deimos の2衛星である。木星の衛星は、これまでに、16個の衛星が知られている。とくに、Galileo の発見により確認されたものとして、Io, Europa, Ganymede, そして、Callisto の4衛星は、天文学関連の科学者および多くの宇宙科学研究者になじみの深い衛星である。土星の衛星は、2012年現在で、18個存在するとされており、発見者の名にちなんだ Cassini 宇宙計画や Huygens の発見した Titan は、宇宙探査機による観測調査の対象となっている。天王星の衛星は、5個である。また、海王星の衛星は、2個である。

宇宙科学の時代になり、天文学における観測などによれば、系外惑星の存在が確認されたものだけをみても、現在では、350個以上の系外惑星が発見されている。この系外とは、太陽系に含まれないものという意味がある。



## 5. ロケットから人工衛星へ

昭和 15 年頃の小学校では、鉛筆にキャップをして、鉛筆箱に収めることになっていた。小学校は国民学校と改められた。昭和 17 年になると、学校によっては、インドネシアの転校生と共にして机を並べた。その頃の小学生は、アルミ製のキャップと、花火のなかの黒色火薬を持ち寄って、マッチ棒で点火して、ロケット遊びに興じていた。

その後、当時のドイツで打ち上げられたロケット爆弾“U2”が英国の都市“London”に落下するということがあった。

1950 年代の大学生の間では、上空に向かって投げた石が地上に落ちてこないためには、どのようにするとよいか、議論することがあった。萬有引力を考えると、簡単に解答は、導かれるが、それが、小学生のような手法と結びつくまでには至らなかったようである。

1958 年にはソ連が、1959 年には米国が、人工衛星を打ち上げた。最初の人工衛星が打ち上げられて以来、約半世紀後の間、人工衛星は、世界中の各国で打ち上げられ、各種のセンサーを搭載して、人類の生活している地球上を周回し、地球表面の情報を収集してきた。その情報は、地球科学の多くの研究分野に貴重な情報を、現在、なお、収集している。

1950 年代後期になると、日本に教育研究への援助があり、日本から米国へ行く留学生などが増え、後年、米国の大学の研究教育において指導的位置を獲得することになる。

そのころ、東京では、糸川英夫は、ペンシル型ロケットの実験をしていた。この実験の成果を基礎として、日本では、ロケットを利用した大気上層の観測研究の計画が実現した。当初は、ロケットに人工衛星を搭載して打ち上げる手法は、考慮されなかった。

このロケットの実験は、米国が NOAA の地球観測事業が、NASA の宇宙観測事業へと、移行する時期と並行して、宇宙科学研究所と宇宙開発事業団との連携によって、発展した。すなはち、2011 年には、太陽系の小惑星“イトカワ”を周回して観測記録を地球上に送信したのち、多くの技術的な壁を乗り越えるための努力の結果として、高度の技術的操作によって、小惑星“イトカワ”の表面の試料をカプセルに収納したカプセル“はやぶさ”が地球に戻ってきた。米国の NASA は、いち早く、日本の高度な技術の注目し、早速、時期の人工衛星打上の技術に導入しようとするほどまでに、この技術を高く評価している。

ここまでに至る間に、京都大学では、極軌道周回の人工衛星の信号を、陸上の基地局で受信し、その信号を処理して、北太平洋西部の、黒潮流域とその周辺の海洋表面温度分布のパターンを調べている。米国の NOAA 衛星を利用すると、1 日に約 6 時間間隔で、基地局上空を通過するときの衛星からの信号を受信することができた。受信用アンテナはクロスバー型のもので、AVHRR(Advanced Very High Resolution Rader)のシステムではなくて、小型のパーソナルコンピューターの受信容量に対応し、画像解析に、短時間で、信号処理が完了し、受信から 7 分後には、海面温度分布画像を視ることができた。これも、ATP(Automatic Transformed Picture)の信号を利用したからである。衛星からの信号は、AVHRR の 1km 平方の分解能があるが、これを処理した分解能 4km 平方の ATP の信号を利用するので、処理能力に必要な容量は、AVHRR の場合に比較して、ATP の場合は、4 分の 1 以下でよい。画像は粗くなるが、7 分後には、あらかた、実時間で、必要な海域の海面温度が画像になるので、大変に便利である。漁船用レーダーの応用である。

このような衛星画像の初期の段階において、観測船が、海上で、直接実測した海面温度と衛星画像上の海面温度には、およそ  $5^{\circ}\text{C}$  の温度差があることが、問題視された。これについては、便宜的に、補正項として、その差を容認していたようである。その後、2000 年代初期には、地球表面からの放射熱(電磁波)に、熱力学や量子力学の Stefan-Boltzmann 効果の応用により、この補正項の物理学的な意味が明らかとなった。これは、Walter Munk らが 1955 年頃に発表した海面による太陽光(可視光)の海面反射とは異なったものである。すなはち、人工衛星画像の例は、赤外線の周波帯の電磁波への海面波の影響であった。

## 6. 宇宙科学と天文学との違い

ここまで、きわめて、簡単に、最近の数世紀にわたった自然科学の進展を述べてきた。きちんとした表現にするならば、自然科学のうちでも、物理学のうち、日常の生活で見る事柄から始めて、ニュートンの力学と関連した問題について、とくに、地球を惑星としてみた時の、諸問題について、ところによっては、日常生活の感覚で述べてきた。さらに、また、場合によっては、専門的な研究課題のようなことも記述したので、まとまりのない、粗雑な文章のようなどころも見受けられるにちがいない。

それでも、自然現象のうちでも、物理的現象については、数学的な手法による記述法や理論的表現が成立するようになってきた時代のなかにおける、日常生活の身の回りでの諸問題から、最近の日本において、欧米に劣らない人工衛星のニュースまでを、紹介して、世界の中で、現在の日本の科学技術の水準が如何に優れているかを述べたつもりである。

このニュースは、太陽系の中で小惑星イトカワの観測に、日本が、独力で、人工衛星を打ち上げて、観測した結果を、電波によって、地球まで届けたことにある。この人工衛星“はやぶさ”は、小惑星“イトカワ”の表面に着地して、与えられた手順にしたがって、作業をすすめ、一定の目的を果たして、帰還の途についた。予定の交信が不可能な状態でも、地上の関係者の努力によって、7年間の宇宙周航という予定外の結果となってしまう、“イトカワ”の表面のサンプルの採取作業を実行したカプセルは、地球上に戻ってきた。

これは、日本の宇宙探査機の機能と科学者の目的達成への強い熱意によるものである。

たしかに、はやぶさ帰還達成は、技術陣からみれば、とにかく、御役目を達成したことになる。このあとに、地球上において、科学者が、小惑星“イトカワ”の情報をしらべて、地球が、誕生したころの宇宙の状況を知ることが、これからの研究者に求められている。

この小惑星を宇宙探査機で観測調査することは、国際的に、日本が、太陽系を構成する惑星のひとつに着地して情報を獲得したという点で、国際的に、最先端の仕事の達成したということになる。

このためには、最初に、人工衛星を搭載したロケットを打ち上げてきた世界各国では、人工衛星に代わるものとして、宇宙探査機を搭載したロケットの打ち上げが必要になる。たしかに、米国は、月探査機をうちあげて、月面着陸をし、月面上の状態を、ローバーという観測車両をロボットのように捜査して、着地点周辺の月面表面の情報を地球に伝送し、それに、月面の石などの試料も持ち帰っていた。たしかに、月面に、人類が、初めての、足跡を残したことも、歴史的に見ても、重要なことである。

しかし、日進月歩の状況で、科学研究が推進されているなかで、宇宙における観測技術の難易度には、地上における高度な技術とは比較にならない問題がある。

ところで、地球上から、宇宙探査機を搭載したロケットを打ち上げるために必要なことは、いったい、何であろうか。第一に、すべての目的のために、どのような部分であっても支障なく機能を果たすという性能を用意できていなくてはならない。これは、宇宙技術とでも表現すべき技術が用意できて、はじめて、可能なことである。

さらに、大切なことは、ロケットおよび宇宙探査機の位置を、宇宙空間において、確実に追跡可能なシステムが完成していることである。

それでも、おそらく、まだ、不十分であると言わなくてはならない。地球上のある位置をロケット発射位置と決めたとして、地球から見て、どの方向に向かって、どのくらいの距離までを宇宙探査機を運ぶ必要があるかを、あらかじめ、はっきりと把握しておくことが、どうしても必要なことである。

宇宙探査機の軌道の制御や修正には、地球観測衛星とは異なった要素を考慮したうえで、宇宙という条件のなかで可能な技術が導入される必要がある。

## 7. 地動説と天動説の座標系

これまでは、古典力学から現在の宇宙時代までについて、簡単な説明をしてきた。しかし、現在でも、天文学の知識は、いろいろと活用されている。

ところで、日常生活では、“こよみ”を利用している例が多い。人類が、過去、およそ5000年以上の期間、太陽の下において活動し、日の出から日の入までの時間を生活の為に過ごし、日没からつぎの日の出までを休息の時間としていたとみなされる。基本的に、人類は、すでに、そのころは、夜行性ではなく、狩猟生活の集落から、農耕生活の集落へ移行していたものと推測される。自然界のなかで発生する火は、大きく成長した植物への風の影響などによるものもあったであろう。また、火山噴火や温泉湧出などの環境などに接して、マグマの流出としての溶岩や地下起源の熱の利用も可能にするということもできたことであろう。いずれにしても、太陽を中心とした生活が長期にわたり継続されたことは容易に推定できる。ちなみに、最近になって、明らかにされつつある古代文明の遺跡の多くの例で、太陽の運行に関連したものが発見されている。また、夜間の情報源としては、天球上の星辰が重要であったことは、日本における古代史に関連した遺跡発掘によるものを参考にしても、理解できるに時代になってきている。

キリスト教の司祭の子として生まれた Copernicus は、Poland の Kurakov Academy を経て Bolonia 大学へ学んだ Copernicus が、キリスト教のカノン法の系統的研究で学位を取得するとともに、Pisa などの地を訪れたのち、天動説を、はじめて、となえたことが、現在の宇宙科学の出発点となっていることはたしかである。彼は、その後、Poland の父の後を継いで、キリスト教の教会の司祭となり、その一生を終えている。

現在にところ、人類は、その起源は、Africa 大陸とされている。岩石の成層状況および岩石の形成年代の推定からみて、Africa の地層は、地球上において、最古の時代のものに属するとされている。人類は、その後、Africa から北上し、一部は、アジアへ向かい、他の一部は、ヨーロッパに向かったようである。おそらく、激しい気候変動や地殻変動に遭遇しながら、多くの集団に分れ、それぞれ、安住の地を求めて長い旅にでたことだろう。

いずれにしても、この地球上に残されている、人類の挙動のあとは、地球上の至るところで、同様なパターンで、残っている、すなはち、石の文化とでもいべきものである。

日本では、石舞台という例があるが、その詳細は不明の様である。

英国では、Stone-Hengi がその例であるが、これは、太陽の運行と季節との関係があるものと判断されているようである。中南米では、石積みの構造物も残されており、太陽の方位と農業との関連を示す遺跡と解釈されている。中南米の押しの遺跡には、古代文字が記されていて、古代文明の水準が高かったことを示すものと推測されている。一部には、石積構造物は、宗教的な目的でできたものや支配者の権力の強大さをしめすものもある。また、インカ帝国のような例では、山城という、集落を外敵から守る目的があったようであるが、その詳細は、現在のところ、不明とされているようである。

また、洞窟内に、星座の図と認められる壁画も残されているところがあり、さらには、狩猟や牧畜や日常の集落生活の様子などの特徴を残した壁画も認められている。南半球のオーストラリアでも、洞窟内に、同様な壁画が残されている。

このように、太陽と星座とは、地球上の人類の歴史では、重要な意義をもったものであったと考えられる。後世の人に伝えるために残したというよりは、日常生活の必要性から生み出されたものと考えるのがだろうであろう。

以上のようなことから、宇宙時代の現在においても、いわゆる、天球上の星座は、地球を座標の原点とした、天空を記述する一種の座標系である。実際に、天動説ならば、太陽を座標の原点に選ぶわけであるから、座標系は、そのほかにも、必要に応じて、いろいろな座標系があっても差し支えはない。ちなみに、銀河系も、ひとつの座標系にある。

## 8. 地球の形状

最初に、地球上で、人類が認識したことは、周辺が、明るくなったり、暗くなったり、それが、繰返されることであつたであろう。明るい時に、天空を移動するものが現在の太陽であつた。暗い時に、天空には、多くの星がきらめき、さらには、現在の季節変化に規則性があることにも気が付いた。

その昔の星は、日本では、中国の文化のもとで、星辰と呼ばれ、文字どおり、占星術の基礎となつていた。その星辰の共通した特徴を、天体と称してきた。

江戸時代から、明治時代となつて、天体の力学は、天文学の一部となつた。人類の生活基盤は、地球の上であつたことから、太陽と地球との関係が科学的に明らかになることは重要なことであつた。また、一日のうち、明るい時は太陽が見え、暗い時は月が見えたということから、月は、太陽の次に、重要なものとみなされた。

ヨーロッパでは、天体を望遠鏡によつて観測することが可能な時代になると、Kepler など、天文学者は、天体の観測をして、主要な天体の光学的特徴や、天体の形状が球形である例を知り、さらに、天体の運動の観測から、太陽系の概形が明らかになっていく。

このような情勢のなかで、地球が太陽を中心とした運動をしていることによつて、天体の中で、太陽系を構成する惑星のひとつであるという認識も、確認されることになった。

ところで、地球の形状が、どのようになっているかを確認するには、人類は、いろいろな経験を重ねることが必要であり、それには、時間的に、永い年月を要した。

ヨーロッパでは、太陽の南中時刻が同一な地点のうち、緯度の高いところと、低いところの二地点における太陽高度によつて、はじめて、地球が球形であると認識した。

それまでに、人類の生活に必要な井戸の水面に、太陽の光が注す天頂角とその時期が、地域によつて異なることは、古代文明にも反映されているようである。

科学技術の進歩によつて、現在のような、詳細な、地球に関する情報が得られるようになって、1年は365日とされ、ギリシャ以前から利用されてきた12進法によつて、1年は12か月とされたが、天動説の下における暦では、ひと月が何日かを科学的な根拠によつて決定することはできなかつた。ギリシャ・ローマ時代の皇帝の名あるいは、数が月の名にされたりした。たとえば、6月は、英語のJuneであり、ギリシャのJanusによつていられる。7月は、Julyで、ローマのJuliusによる。8月は、Augustで、ローマの皇帝Augustusによる。しかし、9月は、Septemberで、七日熱のseptanによる。10月の、Octoberは、前置詞octaによる。11月は、英語のnineに対応するラテン語のnovemによる。

長さの単位は、最初は、金属製のメートル原器で決定された。重さの単位は、金属の塊の重量1キログラム原器で定められた。そして、時間の単位は、1日を24時間、1時間を60分、1分を60秒とした。現在では、基準に選ばれた元素の原子量および電磁波の波長と光速とを利用することによつて、より厳密な定義がされている。

このような基礎的な単位の3要素を活用すると、現在では、地球を周回する人工衛星が、基準となるGeoidからみた高度や周回軌道の決定に必要な操作が、地球上の基地から発射された電波信号によつて可能となっている。その意味で、人工衛星の姿勢制御は、それに搭載されている観測用センサーの機能を正常な状態に維持するためには、秒の単位でも、高い精度の設定と調整が確保できていなくてはならない。

このような物理的な要素を利用して、2011年には、日本でも、人工衛星“はやぶさ”は、地球からとびたつて、小惑星“イトカワ”を観測し、そこに着地して、さらに、多くの障害を乗り越えて、地球に帰還できたといつてよいだろう。回収されたカプセル内には小惑星“イトカワ”の試料が採取されていたようである。人工衛星“はやぶさ”の7年間にわたる宇宙飛行記録も、世界一であると認定されている。今後、観測記録および資料をもとにした研究によつて、宇宙の中での地球の長い歴史が明らかになるものと思われる。

## 9. 宇宙科学からみた惑星地球

これまでに述べてきたように、地球の物理的側面は、Newton 力学によって、数学的手法の導入が可能となった。また、Kepler の法則によって、地球が、天体として、太陽系の中の惑星であることも、明確になった。天文学の情報も利用することにより、太陽が、水素やヘリウムの核融合や核分裂の繰返して、全体としては、太陽活動は、核エネルギーによるものであることが明らかになってきた。電磁流体力学が、地球の電磁現象の理論的な側面を表示できるようになった。

地球上においてのみ可能であった、観測調査は、人工衛星が利用できるようなことになって、グローバルな情報の時系列的表示を可能なものにした。

地球上からの光学的な観測に限定されてきた天体観測も、X線天文学や、赤外線帯域の電磁波を用いた観測によって、さらに新しい情報が得られるようになった。

人工衛星の機能を発展させることによって、宇宙探査機による太陽系における惑星探査も推進され、惑星としての、地球が、その他の惑星と比較して、物理的に、共通点および特異性に関する情報も、獲得できるようになってきた。

宇宙探査機の活躍は、宇宙を知るための技術の高度化を実現できたことを示している。

この宇宙探査機によって得られた情報は、現在のところ、地球の惑星としての特性と、観測対象とした惑星およびその衛星あるいは小惑星などの実態との比較研究の側面が強く表れている。

實際上、地球に関しての情報量が基準となるわけである。その物理的判断をどのようにするか。

惑星地球の誕生から終末までを検討することも、ある程度、可能であるという観点に立つことも可能である。

しかし、スケールとして、別のスケールを選ぶとすれば、宇宙の誕生から終末までの、大きな課題を抱えることになる。

これまでも、宇宙論というものが、いろいろの人たちによって論じられてきた。

かつて、英国において、Newton がすわっていた椅子に、現在では、Hawking がいる。彼の宇宙論は、宇宙の誕生から終末までを対象としているようである。一般的な判断では、彼の議論を理解することは容易ではない。しかし、熱意をもって、彼が語る時、その言葉は、我々の宇宙観に、何か、新しいものを与えてくれるように感じられる。

いずれにしても、多くの問題を解明して、最終的な課題に対する物理学的な解をしめすために、今後、一層の努力をする必要がある。

ここでの努力というのは、単なる情報の処理にとどまるのではない。ただ、体力と時間を費やして、これまでの研究成果の延長線上に、並列的に並べたことをくりかえすようであれば、その努力は、有効とは言えない。無駄な努力であるということになる。

さらに、これまでは未知であった新しい問題をとらえて、太陽の光の届かないような海の深部を探るように、これまでとは異なった手法によって、これまでとは異なった問題を解明するということが重要な課題となる。

生まれてから、時間の経過とともに、成長する人類には、常に、未知の将来への挑戦という課題がある。最初は、関心が、どこにあるかを認識することである。その認識は知識となる。知識だけでは、十分とは言えない。多くの集積された知識から、知恵が生まれる。この知恵が、人類の存続を可能にするかどうかを決定する要因である。このような目的へ向けての、人類の苦闘は、転じて、人類の繁栄につながることを信じたい。

また、昭和 20 年の日本のように、国土が壊滅的な状態に陥っていても、国家的事業としての南極観測は、国際的事業計画への日本の貢献につながった。ここに、2011 年の日本における宇宙探査計画で認められた技術が、国際的にも、例のない(7年間という)宇宙周航が水準の高いものであった。さらに、研究教育への寄与を待ちたい。