

宇宙・地球・環境科学のリテラシー

I. 基本方針

一般人が常識として知る科学用語のうちおよそ半数は宇宙と地球に関するものではないだろうか。宇宙は誰にも人間を越える大きな世界の存在を感じさせ、疑問を持たせる。古くから人類は天体現象に興味を持ち、宇宙観を築こうとしてきた。また、地球は人間が生きる場である。身近に起きる様々な自然現象は身近な謎であるばかりでなく、生活に直接に影響する。人類は地球の謎に挑戦するだけでなく、自然現象の予報を志して規則性や他の現象との相関関係を求めてきた。さらに人間の存在が地球環境に深刻な影響を与えることも認識されてきた。

宇宙・地球・環境についてのリテラシーは、事物や事象の記述にとどまるものであってはならない。それは既に共有されているとあってよいからである。われわれが目指すべきものは、自然界の構造・現象の背後にあるメカニズムや宇宙・地球の歴史についての理解というレベルでのリテラシーである。

さらに、どのようにしてそのように理解できるのか、どうして正しい理解と言えるのだろうか、という所まで踏み込みこむことを目指したい。自然現象の理解の基礎には系統的な観測や基本的な法則がある。誰しも持つ素朴な疑問に答えるためにも科学的な手法を用いることが必要である。これは反面、疑似科学の蔓延を防止する努力でもある。

宇宙・地球・環境科学部会では、この認識に基づき、文科系に進む高校生程度を対象として想定し、単なる事実の羅列ではなく、その科学的な理解の浸透を目指す。地球上の身近な自然現象、および心を惹く宇宙の構造・現象の理解を通して、専門家ではない一般人も科学的なものの見方を身につけ、科学的な考え方の面白さを味わって欲しいと思う。

II. 報告書の目次と概要

1. はじめに (抜粋)

私たち人類の生活は、宇宙の中にある天体としての地球で営まれている。その地球上の自然環境を基盤にして、私たちは活動し社会的あるいは経済的環境や文化的環境が成立している。私たちは、その自然環境の中に存在し生成する自然物や自然現象に支えられ、影響を受け、またその中にロマンや神秘性、美しさ、荘厳さに心をうたれ、時には恐れを感じながら日々生活している。例えば、古代の人は、美しい星空を眺め、星座にまつわる神話を創り出した。また、社会が工業化される前の農業社会では、人が季節を知ることは重要なことであり、太陽や月、星の位置を知り、暦を発達させてきた。宇宙・地球・環境科学の目的のひとつは、

このような私たちの生活や社会活動に直接関わる、地球およびそれを取り巻く宇宙に顕れる自然の事物現象を研究対象とし、科学的に解明し説明することである。

宇宙・地球・環境科学に関する成果（いわゆる科学的知識や技能）は、古代より私たち人類が地球や宇宙の起原、進化を探究する過程において、その時代の科学者や古くは哲学者などによって提示され、社会に広く認知され受け入れられてきた。それは、芸術などと同じように人類により営々と築き上げられてきた文化と言えるであろう。このような宇宙・地球・環境科学に関する成果は、その当時の関係する諸科学や技術の制約、あるいは社会的状況に少なからず影響を受けるとともに、人類の持つ自然の見方や考え方を変容させてきた。例えば、古代より人類は、地球の形や大きさ、宇宙の始まりや大きさ、われわれはどこから来てどこに行くのか、といった疑問を抱いてきた。この人類の基本的とも言える知的好奇心は、神話や宗教に基づく地球観や宇宙観を創出し、やがて科学の進歩や時代とともに科学的な地球観や宇宙観を形成する原動力となったと言える。一般的に、ものの考え方が正反対にかわることを「コペルニクスの転回」と言われるが、これはコペルニクスの地動説の提唱に由来している。これは、ひとつの自然の見方や考え方が大きく変わった例であるとともに、その考え方の変容が社会にインパクトを与えた例でもある。私たちは、こうした地球観や宇宙観に代表される自然の見方や考え方を学びかつ享受し、次世代に継承していく必要がある。それ故にこそ、人間活動のひとつの文化として宇宙・地球・環境科学を学ぶ意義がある。

地球・宇宙・環境科学で扱うスケールには、他の科学の領域や社会科学とは違い、鉱物や宝石などを構成する原子や分子から、広大な宇宙といった空間スケール、さらには地球上で起こる気象現象の短時日から、地球の誕生である約45億年前、さらに宇宙の始まりである約137億年前といった時間スケールがある。科学者は、このような空間スケールや時間スケールで起こる自然の事物現象について、忍耐強く創意工夫した観察や観測、調査、実験、時にはシミュレーションなどを続けて膨大なデータや科学的証拠を得て丁寧に整理し、地球や宇宙の姿を解明し描いてきた。この過程で提示された研究の結果は、科学者の活動の場である学会において、精査・検討・批判などが加えられ、修正され時には破棄され、科学者たちによって認められたものが、新しい宇宙・地球・環境科学の理論として登場してきた。古くからの静的な地球観では、大地と海洋は動かないものと信じられてきたが、現在では、大陸と海洋は位置を変え、形を変えると考えられ、動的な地球観へと変容している。この現代の地球観であるプレートテクトニクス説により、地球の歴史をしめす様々な地質現象、現在でも起きている火山や地震などの現象が統一的に説明できるようになった。けれども、そのような統一的な説明の中には、まだ論争の余地があるような問題も残されている。また、地球で起きる現象の中には、非常に多くの要素によって支配されるための本質的な複雑さがあって、原因と結果を一義的に結びつけることが難しい場合がある。

今日、地球規模の問題である地球温暖化に見られる地球環境問題や天然資源の枯渇といった代替エネルギー問題、さらにはより局所的な問題である地震や火山、津波、台風といった自然災害の問題が顕在化している。ここで「環境」という言

葉（あるいは概念）にはふたつの意味があることに注意すべきである。そのひとつは、様々な自然現象や過程の生起する「場の条件・状況」としての自然環境であり、もうひとつは、そのような状況を地球上に住む人間が「自分たちから見た都合・不都合」という視点から捉えた環境である。このような諸問題は、後者の意味における環境問題であるとともに、持続可能な社会の構築にも関わるものであり、今後人類が解決の方途を模索しなければならない。地球科学研究がめざす自然現象の理解は、これらの諸問題の解決にとって不可欠な基盤を提供するものである。一方、このような地球環境問題や代替エネルギーの問題、自然災害などは、現実的な対応が要求される課題であり、例えば、地球温暖化防止に関しては、世界の科学者と政治家や官僚などが関わり、今後の方策が検討されている。また、わが国では昔から治山治水という考え方があったが、これは宇宙・地球・環境科学の知見と政策が結びついた結果であろう。いずれにしても、私たちは、社会の責任ある構成員（いわゆる市民）として、宇宙・地球・環境科学について学び、自らそれらの諸問題を認識し、解決策を考える態度と能力を身につけ、公的議論に参加し、科学的根拠に基づいて意思決定することが求められる。

2. 気象・気候・海洋

2. 1 気象と気候の正しい理解のために

気象や気候は一般人にとって日常生活の衣食住すべてに関わりをもっているため、そこで使われる言葉や事象には馴染みのあるものが多い。しかしそれらを単なる生活上の知識として受け止めるだけなら底の浅いものになってしまう。そこからもう一步踏み込んで、我々を取り巻く地球上の大気現象（気象）を支配している様々な法則や原理にまで遡って理解することは、大自然の奥の深さに触れる楽しみにつながる。

多くの人々は小学校中学校の理科の時間に、身近ないろいろな現象について既によくの事柄を学んできたはずである。折角勉強したことを、通り過ぎたあとに忘れてしまっては勿体ない。そのつもりでもう一度、自分の頭の中の引き出しを整理してみると、意外に新しいことが見えてくる。

ここでは、そのような自然現象を楽しみながら理解することの具体例として、日ごろ馴染みの深い「天気図と気圧」、「気候とその変動」について考えてみよう。

2. 1. 1 天気図と気圧

2. 1. 2 気候とその変動

☆ コラム

地球の温暖化

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）

2. 2 海と大気の運動のかかわり

海洋は大気に比べると、質量は約 300 倍、含むことのできる熱量はざっと 1000 倍ある。地球の気候を支配するシステムの中で、特に気候の長期の変動になればなるほど、海の役割は大きくなる。長期の変動には地球温暖化のみならず、数年おきに世界各地に「異常気象」をひきおこすエルニーニョなどが含まれている。海と大気のかかわりについてさまざまな角度から考えてみよう。海は生物の生まれ故郷である。海の生物のしくみや生態を知ることが、地球の生命の本質を知ることにもなる。しかし、ここでは「水」として海の働きに焦点をあてて考えることにしたい。

- 2. 2. 1 なぜ大西洋は塩辛いか
- 2. 2. 2 偏西風とは何か
- 2. 2. 3 風でひきづられる海水
- 2. 2. 4 もとに戻って塩辛い大西洋と深層の海水
- 2. 2. 5 エルニーニョ
- 2. 2. 6 海水は深いところが冷たく養分がいっぱい
- 2. 2. 7 海にはなぜ水があるの？

☆ コラム

水の特殊な性質と、海と大気との相互作用
温暖化と海

3. 奇跡の星・地球

3. 1 太陽系のなかの地球（水の惑星と生命の誕生）

私たちの人間の体の半分以上は水でできているそうだ。だから、毎日なんらかの形で水分を取らないとたちまち死んでしまう。私たちが毎口、水を飲んでいられるのは、地球という水の惑星に住んでいるからだ。水道の蛇口をひねれば水ができる。水道がなければ井戸を掘ればよい。井戸がなければ、川や池に行けばよい。川や池がなければ、雨が降るのを待てばよい。

地球には、ありとあらゆる所に水がある。しかし、このような天休は、宇宙広しといえどもざらにあるわけではない。地球に水がなければ、私たちは生きていけないだけでなく、微生物をふくめ、そもそも地球上の生命そのものがこの地球に誕生しなかったと思われている。

それではなぜ、地球だけがこのように豊かな水の惑星なのでしょう。太陽系のなかにある8つの惑星のうちで、惑星の表面に水があるのはただひとつ、地球だけである。地球にもっとも近く、太陽からのエネルギーは地球と同じように受けている月は、表面が砂と岩石の広がる砂漠のような天体であり、一滴の水も見られない。これは月の大きさが地球の4分の一ほどしかなく、重力も地球の6分の一しかないことと関係している。重力が小さいために、水の分子を引きとめる十分な力がないからだ。月に海や川があったとしても、この水は宇宙空間に簡単に逃げ出してしまうのだ。

地球と同じぐらいの大きさの金星にも水はない。金星の表面の温度は鉛でも溶けてしまうような高温なのだ。これは金星が地球よりも太陽の近くにあり、地球より多くの太陽熱をもらうからである。地球は、太陽から1億5000万キロの場所にあるのに対して、金星は太陽から約一億キロの場所にある。たった5000万キロメートル（宇宙ではこの程度の距離は微々たるものです）のちがいで、金星の受け取る太陽熱は地球の約2倍になり、金星の海は蒸発してしまう。金星表面から海がなくなると、内部から放出される炭酸ガスは（地球の海のように炭酸ガスを吸収できないので）、大気として金星を取りかこみ、炭酸ガスの温室効果で、金星はますます熱くなってくるというわけだ。

地球より約8000万キロメートルだけ遠くにある火星には、地球が太陽から受け取るエネルギーの半分以下（同じ面積で比べて）しか届きません。また火星の大きさは地球の半分しかないので、火星を暖めておくのに十分な大気の毛布がないのです。このため火星の平均気温はマイナス70度まで下がっている。このため火星に水があったとしても、氷になってしまう。火星の歴史の上では温暖な気候があった時期もあり、海があった可能性もあるといわれているが、暖かい期間はごく短かったと思われる。

火星よりも遠くの惑星では、さらに温度の低い極寒の世界であり、水はみんな氷になってしまう。太陽系の惑星のなかで、水が液体の水として惑星表面に存在するのは、私たちの地球だけなのです。

もし太陽がいまの2倍の重さがあれば、その寿命は20億年という短いものになってしまう、その重い星の周りの惑星で生命が進化していくのに十分な時間がとれません。また、いまの太陽の2分の一しかない小さな星の周りでは、その星の発する熱は現在の太陽の4%ほどしかなく、惑星をちょうど良い温度に保つことができなくなるのだ。

こう考えると、私たちの地球はこの広い宇宙のなかでも奇跡のような存在であることがわかる。太陽という星の周りで、ちょうど良い場所に、ちょうど良い大きさの惑星があったために、そこで生命が誕生し、海のなかで生命の進化が進み、

やがて人間のような生物が生まれたと思われる。これを読んでいる君も、宇宙のなかの奇跡のような存在といえるでしょう。

3. 2 地球のダイナミックス

3. 2. 1 地球誕生のドラマ

地球の年齢は古い岩石に含まれる放射性元素の崩壊の様子からわかる。地球最古の雅鉍物の年齢は 44 億年、最古の隕石の年齢は 45.5 億年、これから地球はおよそ 45 億年前に誕生したことが分かる。

地球誕生時の様子は、月の岩石が示す数々の証拠から分かる。誕生時には、地球はマグマの海で被われていたであろう。マグマの海が冷えて、地殻ができ、マントルから金属鉄が中心部に沈んでコアができた。地球生命は地球の表面が冷えて、海が誕生してから発生したに違いない。

3. 2. 2 大地も動く

大西洋をはさむ南アメリカ大陸の東海岸とアフリカ大陸の西海岸の海岸線の類似から、ウェーゲナーはこの二つの大陸はもともとひとつの大陸ではなかったかと考えた。またこの二つの大陸にはさまれる大西洋の中央には、地殻の割れ目を思わせるような中央海嶺も発見された。このことから大陸移動説が唱えられるようになった。これは近代になって、さまざまな観測データをもとにしてプレートテクトニクスという新しい地球観となってきた。

3. 2. 3 離合集散する大陸

現在の大陸配置をプレートテクトニクスに従って昔の姿にもどすと、超巨大な大陸パンゲアにいたる。たった 2.5 億年まえの事である。地球上にはひとつの大陸、ひとつの大陸敷かなかった時代があるのである。この時の地球の環境も今は違っていた。このパンゲア超大陸の前には再び大陸が分散していた時代があった。地球の歴史の上ではこのような大陸の離合集散が何度もあったと思われる。「動かざること大地のごとし」ではなく、「大地は海に浮かんだ葉っぱのように、マントルの上を漂流する」らしい。

3. 3 変動の記録

3. 3. 1 地層は環境変動を記録する

地球上でいつでも、どこでもできる地層は、時間経過と生成環境を記録している。(海水も蒸発して雪となり、大気とともに極域に降り積もって氷床をつくり、寒暖のリズムを記録している。)

3. 3. 2 大陸の衝突・ヒマラヤと海洋島弧の衝突・丹沢-伊豆

大陸どうしが衝突すると、どちらも地球内部へ沈み込めず、造山運動がおこって山脈が形成される。

3. 3. 3 失われた超大陸

かつて存在した超大陸は分裂・移動しては、また集合・合体し、何度か大陸形成と改変をくり返した。

3. 3. 4 海溝の堆積と日本列島の成り立ち

海溝では、陸源物質に海洋底物質の一部が混在し、付加体がつくられる。日本列島の骨格は付加体からできている。

3. 3. 5 変形する大陸

巨大な大陸塊の衝突は、造山帯だけでなく、大陸広い範囲にわたって大陸を側方短縮して変形させている。

3. 4 地震と火山

地球の表面部分はやく 10 枚程度のプレートに分かれている。その境界の海溝と海嶺は地球を野球ボールの縫い目のように取り巻いている。プレートの境界はプレートが互いに離れ、沈み込み、海嶺では 1000 度を越す熱いマンツルの岩石が海面下 1 km 程度まで上昇し、海溝にそつては冷たい 100 度程度に冷えた岩石がマンツルの中に斜めに沈みこんでいる。このようなプレート境界の運動が地球のほとんどの変動をもたらしている。

地震はプレートの境界に沿つて密集して起こる。海嶺では比較的浅い 5 km 程度までの深さの小さい地震が頻繁に起こるが、一方海溝沿いの境界では 10 km 程度の浅い地殻内部から 600 km 程度の深いマンツルにいたるまで頻発する。プレート境界に起こるもうひとつの変動は火山噴火である。海嶺も火山である。火山噴出量の多さではこの海嶺は島弧の噴火を大きく超えている。

プレートの内部にできた火山をプレート内火山と呼んでいる。地球の表面付近の変動はプレート境界でおこるが、プレート内部は変動がほとんどないので、ハワイ火山などの噴火の原因はプレートより深いところのマンツルに起源がある。つまりプレート内火山は深部マンツルの窓とよぶことができる。

地震波は音の波であり、縦波と横波がある。それぞれ鉱物によつてその速さもちがい、その比も違ふ。そこで、地球内部の地震波速度の深さ分布を観測からわかると、その鉱物がどのようなものであるか、そしてその状態を探ることが出来る。中心核が上部で融解していることなどがわかる。また、冷たい沈み込むプレートの形や日本列島などの火山弧の下のマンツルでマグマの様子がつかめるようになっている。

3. 4. 1 プレートテクトニクスと地震・火山噴火

プレート境界に沿つて分布している火山と地震

3. 4. 2 地殻・マンツルの破壊—地震と断層

岩石が歪み、それが限界に達してわれ面をつくと地震を発生し、あとに断層をつくる。

3. 4. 3 マンツルの融解

温度の高いマントルや水を含んだマントルの岩石が上昇するといろいろなマグマをつくる。

3. 4. 4 地震から見える地球の内部

地震の波は岩石ごとに違う速さで伝わる。そしてマグマや水などが含まれると遅くなる。地球の中をつたわる地震の波から地球の状態がわかる。

3. 4. 5 プレート運動と稀少金属の濃集

プレート境界ではマグマが発生し、割れ目が多く、水が循環する。こうしたことが地殻中の稀少元素を濃集させる。

3. 5 生命史と地球環境

生物が誕生してから40億年、長い年月の間に現在見られるような多様な形をとるようになった。その間には多くのエピソードがある。アイテムとして基本的なこと、興味があること、生活に関係あることを4つ選び、全体を通じて共通するキーワードと関連させて解説することとした。その他にも、いくつかのコラムを用意した。

3. 5. 1 生命の誕生とその後 地球の舞台へ初登場の役者たち

3. 5. 2 恐竜とマンモス 人気の化石に語らせる地球史・生命史

3. 5. 3 ヒトーラストランナー 生命史におけるヒトの位置づけ

3. 5. 4 石油と鉄 資源と生物との関連（生成環境・材料・探査）

☆ コラム

博物館－いかに伝えるか

☆ キーワード： いかに読みとるか、空間（日本、世界）、時間、発見、古環境と古生物、“進化”、イベント、生活の中で（豊かに生きる、知識、実用）

4. 星と宇宙

4. 1 太陽系

コラム 暦

4. 2 私達は宇宙のこども － 銀河系と地球における「循環」と「進化」

私たちを構成している重元素は、星の「進化」によって形成され、銀河系内部の物質「循環」の結果として太陽系にもたらされた。したがって、科学リテラシ

一の一つとして、私たち自身が宇宙の長い営みの産物であることの認識が必要。元素レベルで見れば自分自身が、かつては星であったことを知ることは「人間は何処から来たか」すなわち自分とは何か？という問いへの回答のヒントになる。また、ここで述べる宇宙の進化同様に「循環」と「進化」の2つのプロセスの組み合わせが自然界において重要であり、それは地球というシステムにとっても欠かせざるプロセスであること（水の循環、大気の進化、諸元素の循環、生態系の循環と進化、大陸移動と海流の循環など）への理解に繋がるよう「宇宙・地球・環境」リテラシー像全体が展開することを望む。地球環境問題と絡んで循環型社会が喧伝されているが、その内容をしっかりと把握するためには、宇宙と地球における「循環」と「進化」の営みの真髓を理解することが不可欠であろう。

- 4. 2. 1 天文学の始まりと星座
- 4. 2. 2 星の誕生
- 4. 2. 3 星の一生と輪廻
- 4. 2. 4 元素の起源と私たち
- 4. 2. 5 天体までの距離
- 4. 2. 6 宇宙の構造
- 4. 2. 7 現在の天文学

4. 3 現代の宇宙論

宇宙論は、現実の生活から離れた、人々の好奇心のみに由来する分野である。それだけに自由な空想ができ、荒唐無稽な宇宙像も描かれやすい。ここでは、人々の宇宙へのイメージが歴史的にどのように変化し、それがどのような科学的根拠があったかをたどる。宇宙観の空想から科学への変遷を知ることによって、人類の想像力と科学性の豊かさを実感したいのである。そして、宇宙がどのようにして始まったの、というような常に問い続けられる疑問に対する現在の考え方をまとめ、まだまだ多くの未知の謎が残されている宇宙について解説を試みる。

- 4. 3. 1 太陽系が宇宙であったころ
- 4. 3. 2 銀河宇宙への道のり
- 4. 3. 3 現代の宇宙論の基礎 — ビッグバン宇宙
- 4. 3. 4 ビッグバン宇宙の展開

5. 太陽と地球の関係

両手を思いっきり伸ばして野原に寝転がり、頭上に広がる大空を眺めてみよう。あの澄みわたる青空は、いったいどこまで続いているのだろう。雲は、なぜあのようないろいろな形に出来るのだろう。空のずっと上に行けば太陽に近づくはず

なのに、山に登ったり、飛行機が飛んでいるあたりの高度では、なぜ気温は低いのだろう。「スペースシャトルからの宇宙遊泳」とか言うが、あの場所は地上からどれくらい高いのか。広い空のどこまでが地球の領分で、どこからが宇宙になっていくのだろう。

地球をとりまく大気を、私たちは目で見ることができる。晴れた昼間には青空が広がり、朝夕には朝焼けや夕焼けが見られる。極地の空は、美しいオーロラの舞いで彩られる。そしてときどき、赤いオーロラが北海道までやってくる。これらは皆、大気の発光現象である。

私たち人類は、惑星地球号の上で太陽から光の恵みを受けて生きているが、太陽のことをよく知っているのだろうか。太陽から地球にやってくるのは光だけではない。太陽をとりまくコロナからは、コロナのガスそのものが流れ出している。このガスはイオンと電子が離れ離れになったプラズマと呼ばれるガスである。コロナからのプラズマ流は太陽風と呼ばれ、太陽系全体を満たしている。だから、地球も惑星も、太陽のコロナの中にあるようなものだ。

遠く離れた太陽の表面での磁場構造の変化が、この太陽風と共に地球へと伝わってくる。しかし、地球は自分の磁場をもっているため、太陽風は地球の周辺で曲げられてしまう。太陽風と地球磁場が作用し合い、地球周辺の宇宙空間に、オーロラや磁気嵐など、様々な興味ある現象を作り出す。私たちは実は、太陽の大気の中にいるのだが、地球が磁場をもっているために、そのことに気づいていないのである。

5. 1 太陽エネルギーの源泉
5. 2 太陽から地球までのエネルギー流
5. 3 太陽活動とは
5. 4 地球周辺の宇宙空間への影響
5. 5 宇宙の天気
5. 6 宇宙のいろいろな場所で

☆ コラム

夕焼け空が赤いわけ
可視光線は人間の利己主義
磁力線がつなぎ換わる
オーロラ観光
電磁誘導の応用