

惑星気候学

はしもと じょーじ

東京大学 気候システム研究センター
E-mail: george@ccsr.u-tokyo.ac.jp

1. 惑星気候学とは

地球科学・惑星科学の関係者であれば、惑星気候学という言葉をごどこかで耳にしたことがあるかもしれない。しかしそうであったとしても、惑星気候学が何を指し何をしているかについてまで知っている人はほとんどいないだろう。本講演ではそんな知名度の低い惑星気候学について、それが何であるのかを説明していきたいと思う。ちなみに自分は「惑星気候学で学位を取得した日本で唯一の研究者」を自称している。もし他にも惑星気候学で学位を取得された方がおられたら、連絡していただきたい(すみやかに看板をおろします)。

1. 1. 歴史と現状

日本において惑星気候学というものが始まったのはいつ頃のことなのだろうか？ こういう歴史の問題を細かく調べたことはないが、それほど古いことではないだろうと思う。とりあえず近くにある資料を調べてみると、98年10月の惑星大気研究会において惑星気候学という言葉が使われているのを見つけたことができた。この研究会は山中大学氏が発起人となり神戸大学で開かれたものであるが、招待講演者の一人である阿部豊氏の講演題目が「惑星気候学に向けて」となっている。この題目を見るに、この講演がなされた98年秋の時点は「これから惑星気候学というものを始めていきましょう」という段階にあったことが推測される。したがって、日本で惑星気候学が本格的に始まったのがこれよりずっと前ということはないだろうと思うのである。

ちなみにこの阿部氏の講演内容についての公式な記録は残っていないものと思われるが、自分の書いたメモには以下のような記述(抜粋)が残されている。

惑星気候学とは

- ・ 惑星表層環境の規定要因・決定機構の解明
- ・ 惑星表層環境の安定性・不安定性
- ・ 現在とは違う表層環境はあり得るのか

これを見るに、講演では惑星気候学の目指すところについて、少なくとも臆気なイメージのようなものは語られていたと推測される。

このように98年10月におそらく日本で初めての公の場で語られた惑星気候学であるが、ざっと(いいかげんに)調べた限りその後は現在まで記録の中にその存在を見つけることができなかつた。しかし少し考えてみれば、日本国内で惑星気候学を専門として掲げている研究者は阿部豊氏と自分の二人以外には存在しないのである(学位取得前の者は除いている。もし他に惑星気候学を専門に掲げる研究者がおられましたら是非ご連絡

ください)。そう思えば、惑星気候学というものがその後一度も語られていないという事実にも合点がゆく。

ここで惑星気候学が語られない原因として研究者数の少ないことを挙げたが、惑星気候学の現状はこれ以外にもある「ないないづくし」の事実によって簡潔・明瞭に語ることができる。

- ・研究者がとても少ない
- ・教科書がない
- ・体系化されていない
- ・権威がない
- ・権益がない
- ・ポストがない
- ・就職できない

まだ学問が教科書もないような発展途上の段階にあり体系化されていないということは、権威を持った古株の研究者が幅を効かせるという状況になっていないことであり、非常に風通しよく誰でもものびのびと研究することのできる環境にあるとすることができる。一方、研究者数の少ないことは、人々の目に触れる機会が少なく、なかなか世の中に認知されないという問題を抱える。また新しい領域であるがゆえに既得権益を全く持たず、就職に際しては非常な苦勞を強いられる。後半については愚痴であると思う人もいるかもしれないが、事実なのだから仕方がない。

1. 2. 位置づけ

惑星気候学の歴史と現状を知れば、その実体がきちんと定まるほどに惑星気候学が成熟していないことが分かると思うが、ここではあえて惑星気候学というものを独断と偏見を交えながらも定義したいと思う。

まず惑星気候学を定義するためには、気候学とは何かというところから始める必要があるだろう。気候学とは文字通り気候の学問であるが、少し考えてみると気象学との違いを明解に説明することが難しいことに気づく。そこで気候と気象の違いから考えてみる。手元にある「岩波国語辞典」を引いてみると、気候と気象はそれぞれ次のように説明されている。

気候 ある土地の長期間を平均して見た、気温・降雨量などの気象の状態
 気象 天候・気温・風の強さなど、大気の状態・現象

すなわち大気現象のことを気象と言ひ、ある特定地点・地域の平均的な大気状態(=気象)を気候と呼んでいる。どちらも同じ大気現象について述べているが、気候は長期間の平均的な状態を見ることと、気象現象を土地という視点に立って見ていることに特徴がある。後半の特徴に注目すれば「気象は大気があれば存在するが、気候は大気と地面の両方がなければ存在しない」という言い方もできるだろう。

ここにあるように気候が地面に即して定義されるのは、気候という概念が「人間が自然環境に対応していくための知識」のひとつとして生み出されたためである。基本的に人間は地面にへばりついて活動するものなので、人間活動という視点で自然環境を捉える

ならば必然的にその視点が地面に固定されることになるのである。したがってこの気候という概念の成り立ちを考えるのならば、人間活動を制約する自然環境として大気現象を視たときの呼び名が気候、あるがままの自然として大気現象を視たときの呼び名が気象、というような言い方もできるだろう。

気候と気象の違いがはっきりしたところで気候学と気象学の違いについて考えてみる。上にあるように気候と気象が定義されるなら、気候学と気象学は同じ大気現象を対象とする学問ということになる。そしてその違いは人間活動を制約する自然環境として大気現象を捉えるかどうか、という点に集約される(もちろん気象学にも大気現象を人間活動を制約する自然環境として視ている面がある。ここで言いたいのはその目的意識の強さに違いがあるということである)。そう考えると、あるがままの自然を科学する気象学の方が、特定の目的をもっておこなわれる気候学より一般性が高い、という言い方ができるかもしれない。すなわち気候学は気象学に内包されるとの見方をすることもできるということである。一般に気象学を専門としている人は、そう考えている人も多いようだ。

しかし目的意識の違いは「何を問題にするか」という根本的なところで違いをもたらす。目的意識を持たないときにはその存在にすら気づかない場合でも、目的意識を持つことで重要な問題として認識されるようになることがあるのである。例えば、気象学では大気現象そのものに深い関心を寄せる一方で、大気現象が現れる舞台とでもいうべき大気の成り立ちにはほとんど注意が向けられていない。すなわち気象学は、大気現象を規定する境界条件の変化によって大気現象がどう変わるのかについては興味を持つが、その境界条件そのものを規定している機構については興味を示さないのである。しかし気候学はこの境界条件の変化が自然環境を変え人間活動に影響を及ぼすことを知っているので、その決定機構に注目しそれを研究する。すなわち大気を含めた現在あるような状態が形成される境界条件をつくりだす機構に思いを巡らすのである。このように同じ大気現象を扱う学問であっても、気象学が問題にせず気候学だけが問題にする課題というものが存在するのである。したがって、気候学が気象学に完全に内包されるとの考えは間違っているように思う(もちろんその両者で重なる部分が大きいということは正しいが)。

これで気候学が定義されたとして、ようやく惑星気候学を語ることができる。惑星気候学というのは気候学に惑星という接頭辞がついたものであるから、この接頭辞に込められた意味がわかればよい。地球物理学や宇宙物理学などの例では、接頭辞(この例では地球と宇宙)は研究対象を限定する働きを持ち、接頭辞のつかないもの(この例の物理学)はそれらを内包するより一般性の高い性質を持ったものを指し示していると考えることができる。しかしこれは気候学の場合には当てはまらない。というのは、接頭辞のつかない気候学が、より一般性の高い気候学ではなく地球に固有の気候学である地球気候学とでも呼ぶべきものに対応してしまっているからである。これは、これまで地球以外の天体上にある人間というものを想定することがなかったため、地球以外で考える気候学というものが存在しなかったためである。すなわち地球にしかない気候学をわざわざ地球気候学と呼ぶ必要がなかったのである。しかし科学技術の発達にともなって現実に地球を離れて他の天体上に降り立つことが可能となった現在においては、地球以外の天体における気候学というものをも考えることが可能となった。惑星気候学とはそのような他天体における気候学を取り込んだ気候学なのである。すなわち惑星気候学の接頭辞にある惑星は、これまで地球に限定されていた気候学がその対象領域を地球以外にまで広げることが宣言するものなのである。

1. 3. 新しい学問展開

惑星気候学は地球以外の天体における気候学も考えるという点で、従来の気候学と異なっていると述べた。例えば現在の太陽系においては、地球の他に金星や火星などの惑星が大気と地面を持っているので、惑星気候学では金星気候学や火星気候学といったものも考える。このように個々の天体における気候を考えることはそれぞれに意味があり興味深いものであるが、このケース・スタディの増加はそれだけに留まらない比較惑星気候学という新たな視点をもたらしてくれるという点で重大な意味を持っている。金星や火星の気候というものを研究すれば、必然的にそれらが地球のそれとは大きく異なっていることに気づかされる。そして、こうした気候の多様性というものがどのようにして生じたのか？という疑問が生じ、これが比較惑星気候学の出発点となるのである。

地球と金星と火星で気候状態が違っているという事実は、現在あるのとは違う気候状態が存在する可能性というものを示唆している。すなわち、現在あるのとは違う気候状態はあり得るのか？という疑問を生じさせる。また、過去の気候というのは現在と同じであったのだろうか？という疑問も生じてくる。そして、気候はどのような要因によって決定されているのか？、何をどうしたら気候状態は変わるのか？、気候を決定している機構はどのようなものなのか？、といったことも問題として浮かび上がってくる。こうした疑問や問題はすべて、惑星気候学によって挑戦される課題となる。すなわち気候学から惑星気候学への拡張は、こうした他天体の気候との比較を通じて新たな課題を創出するのである。

惑星気候学への展開がもたらす結果としてもうひとつ、惑星気候学が気候進化の歴史にも注目するという点を強調しておこう。主として気候学は現在ある状況において気候を形成している機構に興味を持つが、そのような状況がどのように形成されたのかについては気にすることがあまりない(古気候学はその例外であるが、これは気候学の主流ではない)。しかし惑星気候学においては、現在あるような状況が実現したのはなぜか？というところから考える。現在ある気候というものは、過去の歴史の結果として形成されたものであり、過去の歴史が変わっていれば現在の気候も違ったものになった可能性があるのである。したがって惑星気候学においては必然的に45億年前の太陽系形成時からの気候進化の歴史というものを重視することが必要になるのである(古気候学では一般に地質学的証拠が多く残る時代のことしか研究しないので、10億年以上などという時間スケールを考えることはまずない。しかし比較惑星気候学では10億年以上の時間スケールも考えなければ説明できないことがあるので、それを考える)。このように歴史にも重点を置いて気候を見る点は、従来型の気候学との大きな違いのひとつと言えるだろう。

2. 惑星気候学ができる天体

惑星気候学の位置づけで述べたように、惑星気候学をおこなうためには大気と地面が必要である。逆に言えば、大気と地面さえあれば惑星気候学が可能となる。したがって仮想の大気と地面を持つ天体を想定しさえすれば惑星気候学というものをこなうことができ、実際に仮想の天体を考えて系外惑星などをも含めた惑星気候の一般的性質を考察することもなされている。しかし地に足のついた学問をおこなうためにはある程度の観測事実が必要なので、惑星気候学は観測可能な太陽系内の天体を対象としておこなわれることが多い。以下では大気と地面を惑星気候学の見地から定義し、太陽系内で大気や

地面を持つ天体を特定する。

2. 1. 大気とは

これまで「大気」という言葉を定義することなく使ってきたが、その言葉が指し示す対象は誰がその言葉を使うかによって変わり、どこでそれが使われるかによっても変わる。ここでは惑星気候学の見地から「大気」を次のように定義することにする。

大気 天体を取りまく流体としてふるまう気体の層

一般に大気は「天体を取りまく気体層」を指し示すものとして使われることが多いが、ここではそれに加えて「流体としてふるまう」という条件を追加した。これは惑星気候学が気象現象を扱う学問だからである。流体としてふるまわないのであれば、気体の層があっても気象現象は存在せず意味がない。ちなみに気象現象の存在に着目して「大気」を定義したので、この定義は惑星気象学的にも意味があるものになっている。

気体層が流体としてふるまうという条件は、気体分子の平均自由行程によって表すことができる。平均自由行程が長ければ個々の気体分子は他と相互作用することなく勝手に運動し、そのような場合に気体層は流体としては振る舞わない。ここでは気体層が流体とみなせる条件を「圧力が 1 Pa 以上」とすることにする。ちなみに惑星科学の世界においてはごく薄い気体の層であっても大気と呼ばれることがある。例えば、月は気化したナトリウムの大気をまとい、エウロパはごく薄い酸素の大気をまとっている、ということが言われる。しかし流体としてふるまうことを大気の状態に加えると、これらの薄い気体層は大気の定義を満たさない。

上のように定義した大気においては気象現象が存在する。すなわちこのとき大気を持つ天体はそのまま惑星気候学が研究対象とする天体になる。現在、太陽系では上で定義されるような大気を持つ天体が 9 個確認されている。

金星、地球、火星、木星、土星、タイタン、天王星、海王星、トリトン

このリストには含めなかったが、冥王星も大気を持っている可能性があることを指摘しておく(冥王星の大気はちょっと難しい)。

2. 2. 地面とは

惑星気候学をするためには大気の他に地面も必要である。しかし「地面とは何か」ということを定義することは非常に難しい。なぜなら地面は大気と違い物理的に定義するよい方法が見つからないのである。ここでは物理的な厳密さをあきらめ、気候学の原点に立ち返り人間の視点で地面を次のように定義することにする。

地面 人間が宇宙服を着て降り立つことができる場所

このように地面を定義した場合、現在の太陽系で大気と地面を持つ天体は以下の 5 個になる。

金星、地球、火星、タイタン、トリトン

これらは惑星気候学が対象とする天体ということになるが、惑星気候学は現在だけでなく過去も問題にすることを述べた。したがってここにあげた天体以外にも、過去に大気と地面を持った天体は惑星気候学の対象となるし、将来的に大気と地面を持つ可能性のある天体も惑星気候学の対象になると考えてよいだろう。ちなみに冥王星には地面があり、かつ条件によっては大気をまとう可能性があるので、惑星気候学の対象天体に加えておいてもよいかもしれない。講演ではこれらの天体の気候学について解説する予定である。