

連載 理学のキーワード 第2回



「宇宙マイクロ背景放射」

須藤 靖 (物理学専攻 教授)

旧約聖書、創世記、天地創造によれば、神は初めに「光あれ」とのたもうたらしい(神様が何語でしゃべったのか不明なのでどうでもいいことではあるが、英語では“let there be light”と訳され、カリフォルニア大学バークレー校のロゴになっていたりする)。

この「史実」の真偽はさておいても、宇宙初期が光で満ちあふれていたことは、元素の起源という観点からジョージ・ガモフ(G. Gamov)が提唱したビッグバン理論の帰結でもあった。ガモフらはさらに、この熱い時期の名残ともいえるべき光子が現在、絶対温度にして数度から数十度の黒体放射として現在の宇宙を満たしていることまで予言していた。この放射は1965年、ガモフの理論など知らなかった米国ベル研究所のアルノ・ペンジラス(A. A. Penzias)とロバート・ウィルソン(R. W. Wilson)によって観測的に発見された。その後、こ

の分布は絶対温度2.75 Kの完全な黒体放射であることが確認され、今では「宇宙マイクロ波背景放射」(CMB: Cosmic Microwave Background radiation)と呼ばれている。マイクロ波とは、3 GHz ~ 30 GHzの周波数帯の電波をさす言葉である。2.45 GHzのマイクロ波を用いて加熱する電子レンジの通称は、日本語では「チン」、英語では「microwave」であり、どちらも安直な感は否めない。

宇宙は誕生後38万年たち、その温度が約3000度に下がると、電離していた陽子と電子が結合して中性の水素原子となる。それ以前の宇宙は電磁波に対して不透明である。したがって宇宙の果てを観測するという天文学の究極の目標は、電磁波を用いる限り原理的にこの時点より先には遡れない。この意味では、CMBの全天地図は今から(137億年-38万年)前の古文書であると呼んでよからう。この古文書を発見したのが1965年

のペンジラスとウィルソンだとすれば、全天地図を初めて完成させたのが1989年打ち上げの観測衛星COBE(COSMIC Background Explorer)、そして解像度を飛躍的に向上させたのが2001年に打ち上げられた観測衛星WMAP(Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)である。

2006年3月17日(金)に発表されたWMAPの3年間のデータによれば、この古文書を解読した結果、通常の物質は宇宙の組成のわずか4%でしかなく、残りは、暗黒物質が20%、暗黒エネルギーが76%であるとされる。つまり、宇宙の96%は正体が分かっていない。宇宙マイクロ波背景放射という宇宙最古の古文書の解読によって、これらの「暗黒成分」の解明という新たな物理学の扉が開きつつある。

このCMB温度地図は、物理学専攻の宇宙理論研究室・素粒子論研究室、天文学専攻、宇宙線研究所、ビッグバンセンターなどで活発に研究されている。



「エボデボ」

塚谷 裕一 (生物科学専攻 教授)

語呂合わせで妙な言葉となっているが、原語を直訳すれば、発生進化生物学のことである。Evolutionary Developmental Biology。そのまま略せばEvo/Devoとなるところを、丸めてEvo/Devoという。これは文字通り、発生現象に関する進化の背景を解き明かそうとする学問で、発生遺伝学の成功をきっかけに成立した、ごく近年の新しい潮流である。古くからある比較形態学あるいは比較発生学を、分子レベルにもち込んだ形の研究分野だ。

昔から、どういう仕組みで生物ごとに異なる体制が進化してきたのか、という問題は生物学者を魅了してきたし、その理解のための、生物種間の体制の比較解析も長らく進められてきた。比較形態学や比較発生学という学問は、まさにこれである。その結果として分かってきた

こと、たとえば、ウマの「足先」はヒトの中指に相当する、といったような話は、意外性と、なるほどと思わせる部分とが適度に混じり合い、聞いていて実に面白い。

しかしこうした話は、多かれ少なかれ「解釈学」にとどまりやすいきらいがある。たとえば私が駒場生だった頃、高校の元同級生が、こんな笑い話をしたことがあった。ある講義で、動物の体制の進化の説明があったらしい。「何とかを上、下ひっくり返すと何とかになり、何とかを丸めて裏返すと何とかになって、それを適当に引き延ばすと何とかになるって言うんだ。説明としてはうまいなと思ったよ」。その上で、付け加えて曰く「でもどうやってそんな都合よく変形したんだ。だいたい、引っ張ったりのぼしたり、何をしてもいいんなら、どうだって説明

がつくじゃないか」(笑)。

これに対してエボデボ研究は、モデル生物で解き明かされた発生の遺伝制御メカニズムを基盤とした、実証的な学問である。モデル系のシステムの、そのどこがどう変化することで、他の体制が進化したのかを、遺伝子レベルで解き明かす。これは従来にない進化の学問である。成果も華々しく、従来は「相似」器官に過ぎないとされてきた昆虫の眼とヒトの眼が、実は遺伝制御のレベルで相同であることが明らかになるなど、驚くべき発見が相次いでいる。今後、さらなる進展が期待される若い分野である。

本研究科では、生物科学専攻の進化多様性大講座(平野教授、塚谷教授など)で、このジャンルの研究への取り組みがなされている。



「エルニーニョ」

山形 俊男（地球惑星科学専攻 教授）

海の上で風が何日も吹き続けたとしよう。表層の海水は風下側に吹き寄せられるだろうか？ 答えは否である。北(南)半球ならば風を背にして右(左)方向に海水は吹き寄せられるのである。これは地球自転のなせるわざである。

南半球にあるペルーの沿岸では南風が卓越しているため、表層海水は西方沖合いに吹き払われ、これを補うために下層から冷たい海水が湧いている。下層の海水は栄養塩に富み、これが太陽光の届く表層(有光層)に運ばれると、まず植物性プランクトンが繁殖し、ついで動物性プランクトンが、さらにはアンチョビー(カタクチイワシ)などの小魚が集まって来る。夏(12月頃)になると風の収束帯が赤道付近にまで南下して南風は弱まり、付随して冷水の湧昇現象も弱まる。アンチョビー等はより南のチリの方に移動してしまいが、代わりに熱帯系の大型魚が獲れるようになる。海面水温の上昇で大気の大気対流活動が活発になり、雨が降りやすくなるので、砂漠地帯では植物が

一斉に開花期を迎えることになる。16世紀にこの地域を征服したスペイン人達は、クリスマスの時に砂漠を花園に変える、この素晴らしい現象を「エルニーニョ」(El Niño)と呼んだ。エルニーニョとはスペイン語で男の子の意味であり、イエスキリストのことである。

5, 6年に一度、ペルー沖から東太平洋に至る広い範囲で冷水の湧昇が弱まる時がある。この場合には赤道に沿う貿易風が弱まり、西太平洋熱帯域に蓄積している暖水が東太平洋に押し寄せてくる。この巨大な海洋現象が起きると、その影響は世界中に及んで、各地に異常気象を引き起こす。これが「エルニーニョ現象」(El Niño Event)である。この現象は大気側にも「南方振動」(Southern Oscillation)という巨大な気圧の東西振動を伴っている。海の「エルニーニョ現象」と大気の「南方振動」は一つの現象なのである。これを強調して最近では「エンソ現象」(ENSO Event)と呼ぶことも多い。1531年にピサロはインカ帝国を

滅ぼしたが、高地のクスコまで騎馬隊で行けたのは、たまたま「エルニーニョ現象」が起きていて植物が繁殖し水と食料を得られたためと言われている。

「エンソ現象」に代表されるような気候変動要素現象(インド洋に起きる類似の現象が1999年に筆者らが命名した「ダイポールモード現象」である)の研究は1982~83年の巨大エルニーニョ現象を契機に各国の研究教育機関で盛んに行なわれるようになった。地球惑星科学専攻では升本順夫助教授が熱帯海洋のモデル研究に加えて、インド洋の観測空白域を埋めるために精力的な活動を展開し、中村尚助教授は時空スケールの違った現象間の関係や「エンソ現象」の長期変動について活発なデータ解析研究を行っている。東塚知己特任助手は大気海洋結合モデルを開発して現象の再現シミュレーションに力を注ぎ、茅根創助教授は太平洋やインド洋のサンゴのデータ分析から気候変動要素現象の解明に取り組んでいる。



「光触媒」

唯 美津木（化学専攻 助手）

近年、テレビでも頻りに耳にするようになった「光触媒」は、光によってさまざまな化学反応を促進させる物質全般を指す。ほとんどの化学反応は、熱エネルギーにより反応が進行するが、光反応は光をエネルギー源として利用する。自然界では、植物が行う光合成に光触媒反応が含まれている。植物は栄養素となるデンプンを作り出すために、光触媒となる葉緑素を生産し、この葉緑素が太陽光を吸収して二酸化炭素と水からデンプンと酸素を作り出す。光触媒反応は、太陽光はもちろん、蛍光灯などの人工光源でも進行する。

光触媒のもっとも代表的な物質が酸化チタンである。本学の本多健一教授、藤嶋昭教授が1972年にNatureに発表した酸化チタンによる水の光分解が、酸化チタン

の光触媒特性を最初に報告したもので、日本が世界をリードしている分野である。酸化チタンのバンドギャップ以上の光を照射すると電子と正孔が生成し、酸化チタンの表面で物質変換を進行させる。大気や水に含まれる有害有機物質も、酸化チタンの表面に光を当てるだけで分解し無害化できるため、空気浄化や水浄化、抗菌、殺菌、消臭などに優れた能力を発揮する。近年では空気清浄機や抗菌製品、脱臭剤、照明器具や建材などの日常製品にも用いられ、市販されるまでになっている。

環境浄化を目的とした光触媒を取り入れた日常製品の普及には、自然エネルギーである太陽光の利用が必須であり、可視光に対して敏感に反応する光触媒の開発研究が盛んに行われている。現在では、酸化チタンに窒素などをドーピングすることにより、可

視光応答型の光触媒が開発されつつある。また、顕微鏡や各種分光法を用い、光触媒表面で何が起きているのかを明らかにする研究も進められている。

理学系研究科化学専攻では、岩澤康裕教授らが酸化チタン表面で可視光により有機分子の分解反応が進行することを世界で初めて発見し、走査トンネル顕微鏡を用いて実際の光触媒表面の反応機構を原子レベルで解明している。また新規光触媒の設計も研究されている。スペクトル化学研究センターの岩田耕一助教授は、時間分解分光計測を利用して光励起によって生成した電子・正孔の減衰過程を直接捉え、どのようにしたら化学反応に使われている電子・正孔を増やすことができるかを明らかにする研究に取り組んでいる。