

論考●特集・科学教育と科学研究の未来

科学研究教育徒然草

海野和二郎 (NPO 法人東京自由大学学長)
Wasaburo UNNO



1925年、埼玉県浦和町(現さいたま市)生まれ。天文学者、専門は理論天体物理学。東京帝国大学理学部天文学科卒業、同大学院特別研究生修了。理学博士。東大理学部助教授、同教授、近畿大学教授などを歴任。磁場中の吸収線形成のUnno方程式の発見や、恒星の大気における振動の理論研究などの業績を残す一方、現在の国立天文台の理論研究部の基礎を築き、数多くの弟子を輩出した。著書に『天文・地文・人文』など、共著に『星と銀河の世界』『されど天界は変わらず・上諏訪日誌』『わたしの韓国語自修法』など。

科学教育の基盤

宇宙・生命・エネルギーと時間について、古く老子に「道一を生じ、一二を生じ、二三を生じ、三から万物生ず」という名言があるが、複雑系進化の道筋が21世紀になって、明るい未来を予測できる状態とは言えない。

たしかにこの百年の間に、文明のおかげで生活が豊かになり、織田信長の言う「人生五十年」が2倍になろうとしている。一方、ホーキングは「文明の発達のために、人類は100年で絶滅する」と言う。たぶん、贅沢がこうじてエネルギー資源が不足し、その取り合いのための原水爆世界

戦争でも意識したのかもしれない。

天災であれ人災であれ両者の結合であれ、その原因結果の因果関係を明らかにし、その対策を可能な限り考察し広く討議して普及するのが、科学研究と科学教育の大切な役割である。

ところで、近未来に予測される地球規模の大問題は、地球環境問題とエネルギー問題、それに両者の関連する天災異常気象であろう。それらが元になって人類の滅亡につながるかもしれないし、逆にそれらの困難を新機軸によって乗り越えることができれば、新人類の進化となるであろう。どうやってそれを可能にするか、さまざまな人間性の向上が必要であろうが、ドライに言うと、それが科学教育と科学研究の未来の問題である。

科学教育の基盤(道から一)としてまず認識すべきは、地球環境の天与の絶妙さであろう。太陽があり、地球があり、月がある。地球は自転もし、公転もし、大量の水を保持して、海がある。太陽や地球の質量、地球や月の軌道半径が違っていたら、今の地球環境はなく、数十億年前の海に原生微生物が繁殖して大気構造を変えなければ、地球大気も火星や金星の大気と同じ、二酸化炭素大気のままであったであろう。

次に認識すべき教育基盤(一から二)は、老子に言う「三から万物」、

すなわち複雑系世界の混沌発生の理法であろうか。プラスとマイナス、有用と無用、真と偽は複雑系においては常に同居し、時とともに移り変わっていく。ジャーナリズムの二元論的善悪の論調ではごく短期間にか通用しない議論が多い。

第3は、ゲーデルの不完全性定理であろうか。「述語論理Aは不完全である」という述語論理をAとし、述語論理の正否を判定する万能コンピュータにかけると、コンピュータは永久に止まることができない」が証明であるが、「私はウソつきです」が正しいとしても誤りだとしても矛盾に陥る」。この論理の裏である肯定形論理に、「存在」は神の属性の1つである。故に、「神は存在する」という、スピノザの神の存在の証明がある。神は完全性の象徴であり、複雑系の進化を扱う科学は宗教とは本質的に異なる。スピノザは科学的センスのある人ではあるが、神の存在の証明は宗教哲学であって科学ではない。逆に、不完全さがもっとも



図1 天与の絶妙さを備えた地球環境 (提供: NASA)

すなわち複雑系世界の混沌発生の理法であろうか。プラスとマイナス、有用と無用、真と偽は複雑系においては常に同居し、時とともに移り変わっていく。ジャーナリズムの二元論的善悪の論調ではごく短期間にか通用しない議論が多い。

第3は、ゲーデルの不完全性定理であろうか。「述語論理Aは不完全である」という述語論理をAとし、述語論理の正否を判定する万能コンピュータにかけると、コンピュータは永久に止まることができない」が証明であるが、「私はウソつきです」が正しいとしても誤りだとしても矛盾に陥る」。この論理の裏である肯定形論理に、「存在」は神の属性の1つである。故に、「神は存在する」という、スピノザの神の存在の証明がある。神は完全性の象徴であり、複雑系の進化を扱う科学は宗教とは本質的に異なる。スピノザは科学的センスのある人ではあるが、神の存在の証明は宗教哲学であって科学ではない。逆に、不完全さがもっとも



図2 2013年11月16日、フィリピンを大型台風が襲った。台風30号の強風と高波で陸地に打ち上げられた船(提供:毎日新聞社)

頭わになっていることが科学の特長である。

老子の言う「三から万物」の万物は複雑系であり、人類生存にとってもプラスとマイナスが常に同居している。とくにエネルギーの高いものは、有用であるとともに危険でもある。科学教育と科学研究とは共通するところはもちろんあるが、社会的有用性を意識する度合いが違う。

科学研究は真理探究が目的で、有用性は認識の世界での話となる。また、科学と言っても、あまりにも多種多様で、一概に議論するわけにはいかない。ここで問題にする「科学」は主に地球環境科学に限ることにして、その他の宇宙物理学や生命科学、物質科学、素粒子物理学など他分野にはそれぞれ固有の認識と目的意識があるから、直接関連すること以外には触れないことにする。

地球環境問題

話を最近の地球環境問題に関連させると、21世紀、現代の地球科学研究と科学教育の重要課題は何であろうか。知識や社会の変動のタイムスケールを仮に30年とすると、30年前

と現在とで科学的認識がどう変わったであろうか。また、30年後にはどのように地球環境などの変化が予想されるであろうか。もしそれがホーキングのように文明による人類絶滅の予想であるならば、どうすればそれを逆転して、人類が地球環境を永續させる文明を持つことができるであろうか。それがこの論考の研究テーマである。

まず、昨今の台風、地震、異常気象について、考えてみよう。

東日本大震災では、津波によって多くの人命が失われたが、最近の伊豆大島の台風に伴う地滑りでも、フィリピン的大型台風に伴う被害でも、多くの人命が失われた。原発事故による放射能障害のみを問題にする人もあるが、関与するエネルギーと次元の大きさに対する評価が非科学的である。

台風は自然現象であるが、その大型化には、地球温暖化の影響があると考えられる。これまでそんなことを問題にしたことはなかったが、異常気象が続き、台風がこれほど大型化すると、考えてみる必要がある。

太陽光をそれに垂直な平板で受けると、1平方メートルあたり約1キロ

ワットのエネルギーであるが、夜と斜め入射と曇り空の影響で、地面が受けるエネルギーは平均的にその1割ないし2割程度ではあるまいか。それも季節により緯度によって異なるが、春分以後は、北半球の熱帯がもっとも温暖となる。受けた太陽エネルギーの何割かは、月や金星などの輝きに見られるように、反射またはそれに近い形で大気圏外に放出され、残りは地面や海面に吸収されて、生物に適した温暖で水の豊富な地表ができる。

とくに、温暖度の高い熱帯の大気中には、熱を運ぶ対流による上昇気流がかなりの範囲にひろがり、これが熱帯性低気圧、台風の卵となる。台風の中心部は対流作用で、周囲より温度が高く密度が低く軽いので上昇気流となり、熱を高層へ運び地表を冷却するが、その過程に注目すべきプロセスが2つある。

1つは水の関与で、水蒸気は高層で雨となり、地上に降って循環し、その熱容量の大きさが地表の冷却に寄与するが、大量の雨は土砂崩れなど水害の原因となることも多い。第2は竜巻効果で、台風には目があると言われるように、渦巻きをなし、その中心部は遠心力の効果で密度が低くなり、そのぶん軽くなって上昇気流を助ける。

その竜巻運動の回転の角運動量は、地球の自転運動からもらう。上昇気流は地表の高温大気を集めて形成されるが、その際、低緯度の気流ほど地球自転速度が速いので、地球規模の上昇気流は対流源の南北緯度差によって竜巻運動をすることになる。また、竜巻運動による上昇気流の低密度化が浮力となり、上昇気流を促進し、地表温度を酷暑から解放する。竜巻効果は、台風が北上するほど大きくなる。その際さまざまな二次的、三次的作用が伴う。それらの影響が、人類生存の文明にとって重大となる。

上昇気流の内でも、赤道により近

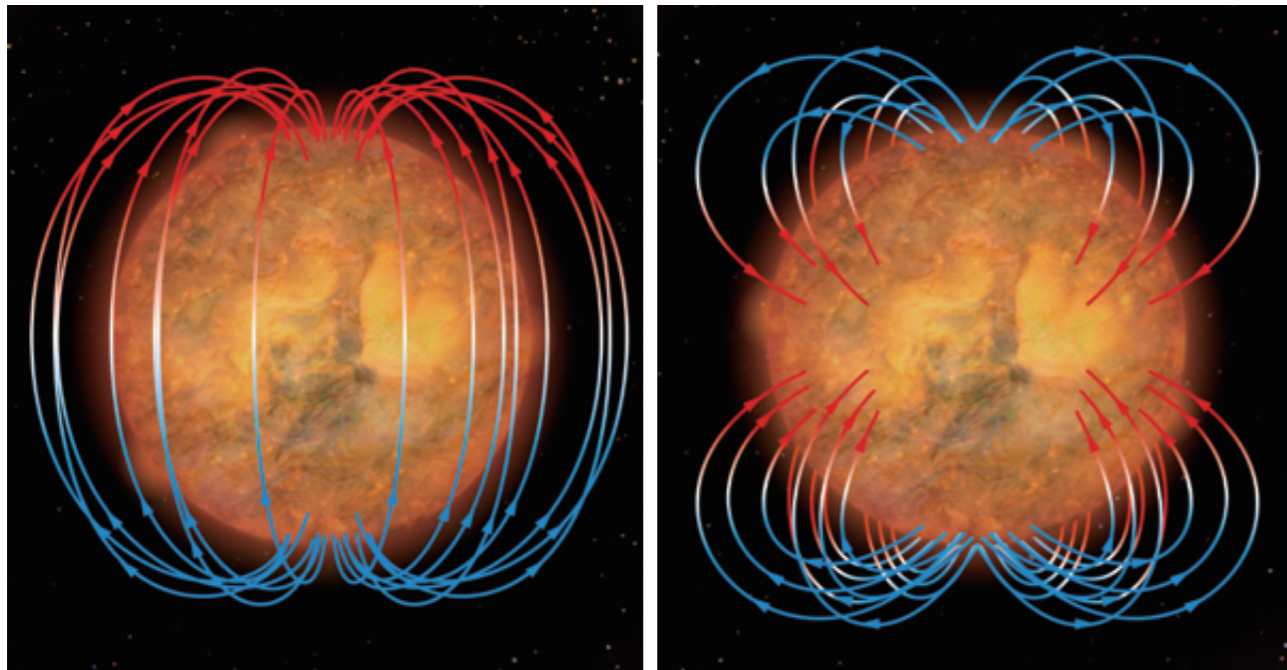


図3 太陽磁場活動2008年は左のような2重極構造だったが、2012年は右のような4重極構造になると予想された。(提供：国立天文台/JAXA)

い低緯度から集めた上昇気流の成分と比較的高緯度から集めた成分とでは地球自転の速度に差があり、それが上昇気流の竜巻運動の原因であるが、その効果は台風がより高緯度に移動するほど大きくなる。ルシャトリエの法則とでもいうか、これが台風が高緯度へ移動する原因であり、台風が目が顕著になる理由であろう。

そういう見方で最近の台風の大型化を見ると、昨年夏以後の大雨などの異常気象や晴雨の入れ替わりの激しい熱帯の天候に似た昨今の天候との関係が疑われる。専門的な科学研究の対象としてもらいたいテーマである。また、台風の竜巻運動のもつ回転の角運動量は分裂して粘性で消滅しないかぎり、台風の消滅時にかなりプレートに蓄積されるであろうから、地震などの地殻変動の原因となるであろう。

こうした地球自転の回転角運動量輸送の問題は台風に限らず、おそらくマグマの対流の竜巻運動についてもあり、それが火山の噴火や東日本大震災の大地震や小笠原西島火山新島形成につながる機構ではないだろうか。また、竜巻運動の地表境界条件として、気象を通じて地球温暖化の影響も無視できないであろうから、

そうした科学研究も必要となるであろう。また、この問題には、地球温暖化が大いに関連してくるから、科学教育の問題としてもたいへん重要である。

太陽磁場活動

地震や火山の問題はまたあとで議論することにして、ここではさらに太陽磁場活動の問題に注目しよう。

最近の常田佐久博士（JAXA宇宙科学研究所所長）等の「ひので」の観測によれば、太陽磁場活動は現在異常で、享保の飢饉を思わせる磁場活動の低い四重極的な磁場構造をしている。

その影響と二酸化炭素による地球温暖化とが、平均的には偶然にもかなり相殺しているらしいが、時と場所によって荒れた天候の原因となっているようである。太陽一般磁場の異常は10年続くか100年続くかどう変動するかよく知らないが、それに対応してよい地球環境を守ることができるのは人間しかない。近い将来の科学教育の重要テーマの1つであろう。

地球環境変動の天文学的要因としては、地球が球対称ではなく回転楕

円体に似た不規則形状であり、自転軸と公転軸のなす角度が太陽や月などの引力の影響で準周期的に変動し、また、自転軸もその北極の位置がグリーンランドやアルプスの高地に近くなり、そこでの永久氷河が地球規模に発展して、太陽光を反射して、氷河期をつくる。それほどの大変動でなくとも、天与の地球環境変動は長年月の間には必ず起こるに相違ない。「ひので」による太陽磁場活動の異常発見は、幸いにも、地球温暖化の時期と重なった感があるが、今後の成り行きが注目される。

「ひので」が見出した太陽一般磁場の異常は、地球環境問題に関連して、いくつかの重要な科学研究テーマと関連する。たとえば、北極がグリーンランドの高地に近くなって生じた氷河期と磁場異常がもたらす地球環境とを定量的に比較研究するような科学研究が数多いものとなることも期待される。

おそらく、水の物性的変化が大きな役割をするものと思うが、そのあたりの定量的研究が必要である。なぜ北極の位置が高地になっただけで、地球が氷河に包まれることになるのか、なぜ太陽磁場異常が飢饉の原因になるのか知りたいものである。科

学教育としても、そのあたりの解説が必要であろうが、もっと初等的なお話から始める必要がある。

90歳近い年寄りの経験に基づく感想であるが、宮沢賢治の「グスコブドリの伝記」などは小中学校の科学教育の参考テキストとしておもしろいのではないだろうか。たしか、東日本大震災にあった岩手県あたりの有能な樵の一家が飢饉続きの年に遭遇する受難の物語であった。両親を失い、妹を人さらいにさらわれたブドリは、やがて火山局につとめ、火山を噴火させて出る炭酸ガスで冷害を止める作業を行い、命を終える。現在の二酸化炭素による地球温暖化の物理を100年前の宮沢賢治が知っていて美しい物語にしたのは驚きというほかはない。

ところで、100年前の偉業として記憶に残る話がある。私の友人の父親山田延男のことである。放射線の研究でノーベル物理学賞と化学賞を受賞したマリ・キュリー（キュリー夫人）の娘でイレーヌ・ジョリオ＝キュリーという、やはりノーベル化学賞受賞の女性がいる。そのノーベル賞実験をほとんど1人でやった日本人男性がいた。それが山田延男である。当時は放射線の危険性はよく認識されておらず、山田は実験をほとんど完成させたが身体を悪くして帰国した。私の友人輝男がまだ物覚えもない乳飲み子のときであった。科学教育の一環として、このような山田延男の伝記も伝えてはいかがであろうか。

地球温暖化問題とエネルギー問題

話を地球温暖化問題にもどすと、いったい何度くらいの温暖化が地球環境に大きな影響を与えるのだろうか。緯度にもより、季節にもよるであろうが、1000メートル登るごとに気温が10℃程度下がるとすれば、高山の動植物が数百メートル下山した環境に棲むことになる。大し

たことはないかもしれないが、人間の場合は冷暖房の電力だけでも大変である。

しかし、もっと大変なのは、おそらく、台風や地震、異常気象の大型化ではないだろうか。また、それらのほかにも、恐竜絶滅の原因になったとされる大隕石や小惑星との衝突も起こり得るであろう。人間だけが地球温暖化の人災やそれらの天災に対処できる能力をもっている。そういった問題を以下に議論し、さらに、科学教育に話を進めて、この論考を終わりにしよう。

台風は、地球自転から竜巻運動の角運動量もらい、北上して竜巻運動をさらに強化して、角運動量を日本列島にもたらし、富士山を中心に日本列島を折り曲げ、そのストレスが関東大震災級の大地震を起こす、そんな可能性のお話を前にしたことがある。

東日本大震災のモデルとして、次に、マグマの竜巻運動、それに伴う火山の噴火と数百年に一度の大地震を考えてみよう。マグマのことはほとんど何も知らないが、地球中心部の核融合などの原子力のエネルギーが地熱となって地表に現れるが、地殻は輻射を通さず、原子分子の衝突で熱を運ぶ熱伝導も遅いので、地殻自身が熱で溶けて液体に近くなったものがマグマではないだろうか。

とすると、地熱が溜まりすぎると、マグマはより流動的になり、台風と同様に竜巻効果を利用して地上に噴出するであろう。それが火山の起こりで、いったん道ができるとマグマはそれを利用してさらに噴出し火山島が形成される。日本列島は何千万年前に形成されたのか知らないが、そうした火山島が列をなして形成されたものとして、マグマ噴出のメカニズムと地震多発のメカニズムが見えるような気がする。

おそらく、マグマの竜巻運動による火山の集積の結果が日本列島形成となり、持ち込んだ角運動量が日本

列島を折り曲げたとすれば、原理的には台風の効果と同じでも、地質学的にもより合理的であろう。専門家による定量的研究を期待したい。

最後に、地球環境問題に関連してエネルギー問題に言及して、この論考を終わることとしよう。

電力が文明国のエネルギーの共通通貨の役割をしていると言われるが、東日本大震災以降、日本の原発は停止しており、化石燃料による火力発電が主力となっている。そのため、排出する二酸化炭素による温室効果が原因となって起こる異常気象が問題である。昨年の夏の酷暑や大雨の原因は、おそらく、その温室効果と火力発電に伴うヒートアイランド現象にあると考えられる。今年以降もこのままであれば、経済問題を別にしても、熱中症や大雨の被害が心配される。火力発電に代わる簡易集光による太陽熱発電が完成し普及するまでは、やはり、現存の原発を改良して用いるべきであろう。

思うに、戦争の原因は、端的に言えば、衣食住をはじめとするエネルギー源の不足にあるとすると、有限な資源である化石燃料に頼る文明は不健全であり、危険である。その点、太陽熱発電は、理想的と言える。現在普及している太陽光発電パネルも悪くないが、パネル製造のコスト（エネルギー）が高すぎる。エネルギー問題、地球環境問題への寄与が少ない。平面鏡の張り合わせで、たとえば、16倍集光して溶融塩に吸収させると、直射日光の絶対温度（約300°K）が2倍となり、温度上昇分が発電に利用できるとすると、小面積の太陽熱発電パネルで（太陽光発電パネルと比べて）10倍以上の発電が可能となるであろう。

こうした問題に関心をお持ちの方、関連した工学技術をお持ちの方は、NPO法人東京自由大学へ来て仲間になってくださることを希望するしだいである。