

## 談話室

## 談話室

## 宇宙のカオス —高炉のカオスとつながるか—

二間瀬 敏 史  
弘前大学理学部教授

昨今の宇宙論ブームの火つけ役は、車椅子の天才ホーキングである。筆者は 1980 年代前半の数年間イギリスに滞在していた。場所はロンドンから西に 2 時間ほどいったウェルズの首都カーデフで、郊外に出ると昔の炭坑町がいくつもある素朴な風景を今でもなつかしく思い出す。当時ケンブリッジのホーキンググループを中心としてブラックホールの研究が進んでおり、しばしばホーキンググループのセミナーに出かけていった。その頃ホーキングはまだ声を失っておらず、盛んにスピーカーに質問していた。といっても、ただアウーとしか聞こえないので、何を聞かれているのか見当のつかない場合は質疑応答に時間がかかる。今振り返ってみると、スピーカーの中でホーキングの言葉を理解し、質問に答えられた人やグループの中でホーキングの質問を的確に通訳できた人は、皆偉くなっている。要するにそういった人たちは、ホーキングの言葉を理解できたのではなく、物理が分っていて何が問題なのかを理解できたのであろう。私はといえば、ホーキングの声はアウーとしか聞こえなかった。

さて「鉄と鋼」の編集部から宇宙のカオスと高炉のカオスという題をいただいた時、何を書こうかと考えていたら昔のホーキングの質問を思い出した。そのついでにカオスとブラックホールにまつわる話をしてみよう。高炉とは直接関係がないので、タイトルに期待した読者には申し訳ないが、高炉もブラックボックスといわれるので慧眼な読者諸兄の中にはブラックホールの話から高炉について何らかの類推を見つけられるかもしれない。

「ブラックホールに毛が三本」という標語がある。これはブラックホールのでき方と性質をよく表している。物質が周りより密に集まった部分は大きな重力をもち、さらに周りから物質を集めようとする。従って最初は小さな密度の揺らぎが、重力によってどんどん成長していく。普通はある程度まで成長すると温度が上がり、それによる熱圧力のために成長は止まる。しかし圧力が有効に働かなかったり、重力が極端につよい場合には、成長は際限なく続き、ブラックホールになってしまう。このことは例えば太陽の 10 倍程度の質量をもった星の一生の最期に実際に起こる。鉄は原子核の中で最も安定なので、中心の核反応が鉄まで進めばもう燃えることはなく、星は冷えてくる。すると圧力が下がり中心部分は自

分自身の重力を支えることができなくなって、自己崩壊を起こす。一方星の外側はその反作用として大爆発を起こし、宇宙空間を汚染する。この大爆発が超新星として地球で観測される。超新星の爆発の際に放出されるエネルギーは、銀河 1 個が放出しているエネルギーに匹敵する程大きくなることもある。爆発の残骸として中心部に中性子星あるいはブラックホールが残されるのである。

これがブラックホールができる大まかなメカニズムであるが、実のところその詳細はまだよく分っていない。詳細はまさにカオスであり、その過程を追うことは今のところできないでいる。スーパーコンピュータによる、軸対称などの対称性を仮定しない大規模数値シミュレーションは始まったばかりであり、今後のスーパーコンピュータの進歩によって急速に理解が進むと思われるが、現実的な物理プロセスまで含めた重力崩壊を取り扱うにはまだまだ時間がかかるだろう。

崩壊の最中の物理プロセスは正にカオスであってよく分らないが、最後の落ちつく先を考えると相当のことが言える。それが「ブラックホールに毛が 3 本」定理なのである。「毛が 3 本」の毛とは、質量、電荷、角運動量の 3 つであり、この定理は、どんなものからどのようにしてできるにせよ、出来上がったブラックホールはその 3 つの性質しかもたないことを言っている。ブラックホールができる前の星がもっていた多くの性質、例えばその星の化学組成とか形のような情報（毛）や物理プロセスのカオスの振舞いの記憶はできる過程でどんどん抜けていってしまうというわけだ。

ブラックホールの場合がそうであるように、物理系の中にはその落ちつく先だけを考えると、途中の面倒な振舞いを忘れることができるものがある。もちろんできたブラックホールの性質は、最初の星の質量と途中の崩壊の様子で決まる。従って途中のカオス的振舞いを完全に忘れることはできない。初期条件としてある超新星爆発直前の星をもってきた場合、どんなブラックホールができるかという問題を完全に解くには、実験ができないので大規模な 3 次元数値シミュレーションがどうしても必要になる。それなら計算機の能力が十分でない段階では何もいえないかということ、そんなことはない。というのが「ブラックホールに毛が 3 本」定理なのである。

この定理はその後のブラックホール物理学に大きな寄与をした。重力崩壊の過程で情報が失われることは、統計力学におけるエントロピーを思い起こさせる。実際、ブラックホールの表面は事象の地平面と呼ばれ、いったんその中に入ると外には逃げ出せない一方通行の面である。従ってほとんど全ての情報（毛）はその面の中に入ると外からは見えないので、3 本を残して情報（毛）が失われたと考えることができる。エントロピーの増加＝情報の欠如なので、ブラックホールの誕生とともに莫大

なエントロピーの増加が起こった、あるいはブラックホールには莫大なエントロピーが付随しているとみなせるのである。

ブラックホールのエントロピーは、さらにブラックホールが熱輻射を出して蒸発するというホーキングの大発見につながっていく。蒸発によってブラックホールは跡形もなく無くなるのではないかと考えられている。もしそうなら「毛が3本」定理の帰結は、無すなわち「毛無し」状態ということになる。

## 旧ソ連見たまま

石川 圭介  
金属材料技術研究所

### “アエロフロートは健在”

6月8日から、ウクライナ共和国キエフ市で開催された国際低温工学・低温材料会議に出席するため、旧ソ連邦を訪れた時の経験を述べさせていただきます。

1時間遅れで成田を飛び立った、イリュージン 62 の機内はなんとも狭い。機内は、ジャンボ機とちがいで、映画も音楽も有りません。従ってエアロビクスも強制されることはありませんでした。アエロフロートは路線距離、保有航空機数で世界最大の航空会社だそうです。しかも、事故らしい事故を起こしたことが無いのは、軍人上がりの腕利きのパイロットが操縦しているからだそうです。その証拠でもあるかのように、決して立派とは言えない機内設備、エンジンの騒音にもかかわらず、離陸、着陸の不安は少なかった。ヨーロッパへ経済的な旅をされる方には如何でしょうか。

### “シェレメチボ着、ヴノコボ発”

モスクワへの国際線は、シェレメチボ II に到着する。十数年前通過客として経験した時は、銃を持った兵士が居て印象はよくなかった。今回は兵士の姿もなく至って簡単な通関であったが、建物の内部の暗いこと、汚いことには驚かされた。その上、白タクの客引きの多いこと、これもペレストロイカの結果だろうか。ほとんどのタクシーのフロントガラスにひびが入っており、なおかつメーターも動かないものが多い。実際料金は、ドル立てで、交渉しだいですからメーターが故障していてもなら問題はありません。

モスクワをはさんで、反対側にあるキエフへの飛行機の出るヴノコボ空港は、かつては国内線用であったが、ウクライナ共和国が独立したため、国際線の空港に急きょ変わったらしく、国際線とは書いてあるが、アナウンスは全てロシア語、何を聞いてもロシア語、しかもチェックインではチケットは取り上げられた上、搭乗券はなく不安のままじっと待つのみ。ロビーの客が移動す

るのを見て自分の飛行機を確かめるため聞きまくるが、オーバーブッキングは日常のことと聞いていたので、席に座れるまで不安は尽きませんでした。

### “ウクライナは別の国”

どうやら機上の人になり、1時間余でキエフのボリスポール空港に着陸、飛行機から滑走路に直に降ろされた。すぐ側を、離陸する飛行機が通っていく。旧ソ連邦からの乗客には通関のチェックはない、空港の外にはじき出された感じである。しかし、旧ソ連邦以外の西側からの客はパスポートのチェックがある。ウクライナのビザはそこで発行され50ドル徴収される。現在ウクライナは、公式の通貨を持っていないため、クーポンが代用に使われている。クーポンは貨幣でないためその価値は不安定であり、交換率もまちまちで(闇が一番得)、番号も、発行先も記されていない。しかも、自国で印刷されて無く、フランスからの輸入だそうです。

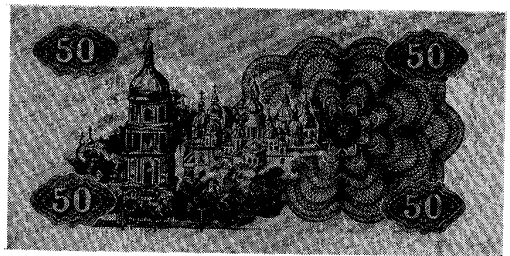


写真1 ウクライナ共和国のクーポン券(単位なし)

### “キエフの黄金の門”(写真2)

キエフはロシア発祥の地であり、京都と姉妹都市の古都である。街はマロニエとポプラの並木がどこまでも続いていて、今はマロニエの綿毛が街中に飛び交っていた。道路、建物等街のインフラストラクチャーは立派であるが、手入れに手が回らないようである。しかし、早朝には散水車が街の汚れを洗い流していくため、早朝の散歩は爽快であった。キエフを有名にしているものとして、キエフの原点である黄金の門がある。ムソルグスキーはどの絵を見たのか知りませんが現在の門は再建されたもので、それほどのことではありませんでしたが、入場料が2(円)とは驚きました。お金のことついでに、地下鉄、バスは1/2(円)でした。

### “いまチェルノブイリは”

キエフを再度有名にした事件としてチェルノブイリの事故があります。チェルノブイリは、ドニエプル河に沿ってキエフの北、200 km 程のところですが、キエフか