

1 自然における原子核

1.1 自然の階層構造と原子核

自然または宇宙全体は今から約 130 億年前のビッグバン（原初大爆発）から誕生し、超高温高压の状態から膨張とともに、天体宇宙から素粒子にいたる階層構造が形成された。このような自然の階層構造の中で、原子核は、原子分子からクォークまでの量子力学に従う階層のほぼ中央部に位置しています。

人間も含めて、あらゆる物質は原子からできています。その原子の質量の殆どは原子核に集中しています。さらに、化学的元素の安定性は芯としての原子核の安定性にその深い根拠があります。放射性崩壊（壊変）は不安定な原子核において起こる現象です。

1.2 原子核反応システムとしての宇宙

私たちの宇宙はビッグバンという大爆発によって創られたことが、過去数十年の天文学、宇宙核物理学、素粒子宇宙論などの長足の進展により、明らかになってきました。ビッグバンが起きたときは宇宙にはエネルギーが満ちているだけでいかなる物質も存在していませんでした。私たちや地球も構成されている種々の元素は、その後の宇宙の進化とともに作られてきました。

まず、ビッグバン直後に、基本粒子であるクォークの複合粒子として核子（陽子、中性子の総称）や中間子が作られました。その数分後にはヘリウムまでの軽い元素の原子核とごく少量のリチウムの原子核が作られました。

その後、宇宙（空間）の膨張とともに、温度が下がり、元素の合成はいったん止まりました。このころの宇宙では、水素、ヘリウムなどの原子核と、電子と光（光子）が混合した状態となり、それぞれが相互に衝突を繰り返しながら、自由に飛び回っていました。

宇宙の膨張はさらに続き、温度はさらに低下しました。そして、ビッグバン後 10 万年以上もたって温度が十分に低くなると、電子が原子核に捕捉されて原子ができました。原子ができると、通常の状態では原子は電氣的に中性になるために、原子同士の電磁氣的反発力がなくなります。すると原子は重力で相互に引き合い、それらが集合して星が形成されました。

星の内部では重力による収縮のために温度が上昇し、再び元素の合成が始まります。ここでは水素とヘリウムの原子核が核融合反応を起こし、より安定な原子核に移っていきます。このように、星の内部の核反応によって、もっとも安定な原子核である鉄やニッケルまでが合成されます。そして鉄より重い原子核は、星の進化の最終段階である超新星爆発を起こしたときに作られると考えられています。この意味で原子核反応なしには私たち人類は存在しないのです。

1.3 太陽など恒星の主要なエネルギー源は核融合反応

地球上の殆どの生物は太陽の光、熱エネルギーなしにはその生存は保障されないといっても過言ではありません。地球の大きさに比べて膨大な距離にある太陽からは周囲の空間にこれまで約 50 億年もの間、莫大なエネルギーが放出されてきました。これからも約 50 億年は太陽がほぼ同じようにエネルギーを発生しつづけるといわれています。この太陽のエネルギー源は太陽の内部の強い重力の条件下で起こる核融合反応によるものなのです。

1.4 地球の生成期と現在における崩壊熱の役割

地殻中の放射性物質の崩壊熱は地球生成期には深部の水分を地表にまで移動させただけでなく、現在でも地球内部エネルギーの重要な部分であると推定されています。大きい見積もりの場合は約半分、また小さい見積もりの場合には 10 分の 1 程度。地球生成期には U^{235} , K^{40} の崩壊熱が微惑星の運動エネルギーとともにマグマオーシャンを生みだし、重い地殻成分を沈ませ、核形成重要な役割を果たしました。

現在の地球においても、昼夜や季節に関係にそれほど影響されずに、生物の生存に適した環境が保持されているのはほどよい地熱の存在によります。地熱の重要な供給源は半減期 45 億年の U^{238} と 12.6 億年の Th^{232} の崩壊熱であるといわれています。

(このように、地殻中に放射性物質はどこにでもあるので、石炭火力発電所の煙は、定常運転中の原発と同程度の放射性物質を放射しています。)

1.5 宇宙から降り注ぐ自然放射線と体内の放射線

自然放射線には、宇宙から降り注ぐ宇宙線と地面からの放射線があります。地面からの放射線は地域によって異なります。その強さは、主にウラン、トリウムおよびカリウムの存在量に依っています。

カリウムの一部 (約 0.01%) は放射性のカリウム 40 で、人間の体内にも筋肉などに含まれています。

ラドンは地中のウランの放射壊変によって生成し、大気中に出てくるものです。このため、建物の材料、部屋の換気の程度によっても、受ける放射線の量に違いが出てきます。また、飛行機に乗ると、宇宙線の量が増加します。海上では、地面からの放射線が水によってさえぎられるため、放射線量は減少します。

最近では、2 万光年の彼方の星で発生した γ 線が地球までやってきたという現象がありました。また太陽活動の強弱により地球に降り注ぐ放射線が大きく変化します。

1.5.1 天然原子炉の予言と発見

日本の化学者、黒田氏により過去の地球に天然の条件下で核分裂連鎖反応が実現されている可能性が指摘されていました。その後、黒田博士の予言にそった形で、アフリカのガボン共和国には 17 億年前に天然の原子炉が過去に存在したという証拠が発見されていま

す。(<http://www.jnc.go.jp/kaihatu/tisou/bunken/panf/FACT4-221.pdf>)

西アフリカのガボン共和国オクロ（有名なシュワイツァ博士が住んでいたランバレネの町よりずっと奥地に入ったウラン鉱床のある所）で天然原子炉現象が発見されました。天然原子炉というのは、自然界でウランが原子炉と同じように核分裂連鎖反応を起こした現象をいいます。

それは 17 億年以前に発生し、少なくとも 10 万年は継続したと推定されています。オクロにはウラン鉱床があり、ここではウランが原子炉と同じように核分裂連鎖反応を起こしていました。このときに発生したプルトニウム等多くの放射性物質は、現在まで発生した場所から殆ど移動していないことが調査で分かりました。

このことは、安定した地層が高レベル放射性廃棄物を閉じ込めるための天然の障壁（天然バリア）として有効であることを、証明しています。

オクロ付近では、これまでに 12 ケ所の天然原子炉が見つっていますが、この発見のきっかけは、オクロ鉱床産のウランを分析していたフランスの研究所が、この天然ウラン中のウラン 235 の濃度が通常の値 (0.72%) が有意に低いことを確認したことです。これは過去にウラン 235 が核分裂により失われたことを示しています。そしてオクロ付近のウラン鉱試料に含まれる種々の元素の精密な分析結果から、そのような核分裂が相当期間にわたって、かなりの規模で発生したことが確かめられました。

2 社会における核エネルギー, 放射線, 放射能

2.1 原子力発電

2002 年現在、全世界で約 500 基, 日本国内で約 50 基の原子力発電が稼動しています。日本では平均して 40% 以上の電力が原子力によって供給されています。(実は、正月休みの需要低減期にはわが国の電力の約 90% は原発により供給されています。)

1980 年代初めにはアメリカのスリーマイル島原発が事故を起こしました。その際は幸いにも死傷者は報告されていません。また、1986 年 4 月に起こったチェルノブイル事故では、消火作業にあたった消防士など 203 名に急性の障害が現れ、2 ヶ月後にはそのうち 26 名がなくなっています。その際、原子炉内にあった放射性物質が飛散し、ヨーロッパだけではなく我が国にも届いたということがありました。

1999 年、東海村において臨界事故が発生し、これまでに二人が死亡し、数百人が被曝するという事故が発生したことは記憶に新しいことです。

近年、炭酸ガスなどによる温室効果など地球環境問題が重要になり、化石燃料依存型の社会構造のあり方が問われてきています。一方、中長期的に考えた場合、先進国だけではなく発展途上国を含めた人類にとってのエネルギー資源の確保も問われています。

また、既存の原子力発電の批判的検討、核技術自体の発展の必要性、可能性も少しずつ議論されてきつつあります。(例えば、古川和夫「原発革命」、文春新書 (文芸春秋社)、2001 年)。

2.2 大量破壊兵器としての核兵器

1945年に広島、長崎の投下された原爆による被害は忘れることはできません。その後の大型水爆は人類が自らの絶滅手段を歴史上初めて獲得したことを意味するといわれています。1954年3月のビキニ環礁での水爆実験で被災した第五福龍丸の乗組員の場合、放射性降下物を全身に浴びる。原水爆の大気圏内実験が行われた、1950年代末から1960年代にかけては、放出された放射性同位元素が大気を汚染し、雨とともに降ってくるということがありました。近年は少し削減されつつあるとはいえ、依然として、数千発の核弾頭を保有する米国、ロシアを中心として中国、イギリス、フランスなどに大量の核兵器が集積されています。日本においても原子力艦船がときどき寄港しています。近年のできごとで残念なことはインド、パキスタン両国が最近、核兵器保有国となったことです。また、イスラエルが核兵器を保有していることは外交上は公然の秘密とみなされています。

さらに、1990年代に第二次世界大戦後から長く続いた東西冷戦の終結とともに核軍拡競争は弱まると考えられていましたが、ブッシュ政権の登場により米国が新政策を公表し、核兵器の強化拡充方針を打ち出し、「第二の核(兵器)時代」が始まるのではないかとみられるようになってきています。

近年、核兵器と通常兵器の差をあいまいにするような兵器が開発されています。湾岸戦争において多国籍軍によって使用された劣化ウラン砲弾はイラク軍の戦車攻撃のために多数使用されたといわれています。一部にはいわゆる湾岸症候群の原因のひとつは劣化ウラン弾の燃焼によって、微粒子状態になったものを従軍兵士たちが吸入したことによる影響であると指摘されています。ウラン核から放出されるアルファ線と重金属としてのウランの毒性の両方が要因として指摘されています。アメリカなどによるイラク攻撃の際には再び劣化ウラン弾が使用される計画があるとの常道がなされていて、従軍兵士だけではなく一般市民への影響が懸念されます。

2.3 核兵器の水平拡散をめぐる新たな動き

2002年春、アメリカ主導のイラク戦争が旧フセイン政権による、大量破壊兵器の保有を口実として始められたことは周知の事実です。ここで大量破壊兵器とは、生物化学兵器や核兵器を意味します。そして、大規模な戦闘が終わったといわれた後も、イラク国民だけでなくアメリカ兵を含む死傷者が着実に増加しています。

その後、イラクの隣国、イランにおける核開発が核兵器開発を含んでいるのではないかという疑惑とその調査が国際的には重要な問題となっています。また、北朝鮮(朝鮮民主主義人民共和国)の核開発をめぐる動きはここ数年、北東アジアの平和をめぐる外交の重要問題でありつづけています。

ごく最近(2004年9月)の報道によれば、1980年代に韓国においてもウラン濃縮実験が行われていたことが判明して、北朝鮮をめぐる国際交渉に複雑な影響を与える可能性があることが指摘されています。

以上からいえることは、いわゆる冷戦後においても、核兵器は国際政治上、圧倒的な影響を与える存在であり続けていることです。

2.4 放射線源を利用した身の回りの製品

わたしたちの身のまわりには、医療用の X 線だけではなく、放射線を出すものが意外にもたくさんあり、目覚まし時計の夜光塗料、火災報知機、ランタンの芯など日常生活の中にも使われています。それらはどんな放射線を出しているのでしょうか。また、温泉(ラドン温泉など)などには放射能の強い石があります。

1. 医療放射線

病気の検査では X 線がしばしば使われます。胸部 X 線、歯列のパノラマ撮影、胃の透視、X 線 CT による断層撮影がよく知られています。また、放射性同位元素を投与してその体内分布をみる PET による診断が行われることがあります。ガン治療では、コバルト 60 照射、電子線照射が行われており、陽子線、重イオン、中性子による照射治療も研究が進んでいます。

2. 煙感知器 煙感知器には数 k Bq のアメリシウム 241 が使われています。α線の電離作用により電離電流が流れているすきまがあり、ここに煙がくると電離電流が減少するので煙が検知される仕組みになっています。煙感知器はビルにはほとんど例外なく取り付けられていて、最近では個人宅で取り付けられているところもあります。アメリシウム 241 が出す X 線や γ 線のエネルギーは比較的小さく β 線も出しません。

3. 蛍光灯のグロー放電管 蛍光灯のグロー放電管内にも 4 k ベクレル以下のプロメチウム 147 が塗布されていて、β線の電離作用により、スイッチを入れたとき放電がただちに起こって蛍光灯が素早く点灯する役目を果たしています。

3 1999 年東海村臨界事故の衝撃と意味

1999 年 9 月 30 日、茨城県東海村にある (株)JCO 東海事業所で、臨界爆発事故が発生した。この臨界事故により、従業員 2 名が放射線による急性障害で入院しました。同施設から大量の放射線が放出され、茨城県の測定では通常値の一万倍以上の放射能値が記録されました。周辺 39 世帯 150 人の住民が一時避難し、工場周辺は立ち入り禁止、周辺 3 km の道路封鎖、周辺 10km の住民に屋内退避措置が取られました。その後、従業員 2 名が放射線障害で死亡しました。

このような臨界爆発事故、すなわち市街地における裸の原子炉の突然の出現という事態は日本でははじめてで、最悪の事態でした。実はその約 20 年前にはアメリカでも同様な事故が発生していましたが、その後は対策が採られて先進国では臨界事故は起こるとは想定されていませんでした。

事故発生直後は当時の科学技術庁、文部大臣、原子力専門家も事故の実態把握が不十分で対処法に相当のとまどいがありました。それだけではなく、原発反対運動に携わっている人々、原水爆禁止運動に携わってきた人々にもこのような事故の発生は予想もされていませんでした。外国からみれば、日本は唯一の原爆被災国として、また原子力発電への依存率が先進国中 2 番目に高い国として専門家だけではなく、一般市民にも相当の原水爆、原子力については相当の知識があるはずと思われていて、事故発生は大きな驚きを呼び起

こしました。

これらの事実にはつぎのような意味・教訓を汲み取れると思います。

1. 一般市民も原子核エネルギーについての基礎的知識は必要不可欠であること、
2. 原子核工学者は原子核エネルギーの工学的制御について過度の楽観性をもっていたのではないか、
3. 原子核物理学者は原理的に起こりうることについて科学的な根拠にもとずく警告をしておくべきであったこと、
4. 原子力行政による安全審査体制は実効的ではなかったこと、
5. 科学教育行政当局は原子核エネルギーについて学校教育において基礎的な教育を施していなかったこと、

などです。原子力という呼称に見られるように、「原子力」なるものが原子核に起因することを直視しない日本国内の積年の傾向や原子核をめぐる科学と工学技術との、近年の乖離も背景にあったともいえるでしょう。このような現状を少しでも改善できることに貢献できれば、この講義の目的の大部分は達成されることになります。