RADIATION EDUCATION

放射線教育

2003

VOL. 7 NO. 1

放射線教育フォーラム

Radiation Education Forum

放 射 線 教 育
Radiation Education
Vol. 7 No. 1

目 次

1__【巻頭言】「放射線は万物の源」 渡邉正己

3__高等学校物理教科書における原子力・放射線関係の内容
～50年間の移り変わり～ 一川恵美子, 菊池文誠

13__同位体を放射線にして測定する 加速器質量分析法 小高正敬

21__エネルギー資源量並びに人類のエネルギー消費量の予測
—地球史から考える— 大野新一, 清水三郎

27__これからの理科教育と放射線（1）
量子論・相対論の導入とそのための放射線の活用 大野新一

35__原子力という用語を一切使わない原子力PAの試み 荒谷美智

43__放射線育種と酒造好適米 坂内忠明

53__わが国における放射線への恐怖感について 田中隆一

59__新聞報道にみる原子力：2001年4月～2003年12月 笹川澄子

69__投稿規定
70__編集後記 坂内忠明

発行：2004年3月30日, NPO法人 放射線教育フォーラム
〒100-0013 東京都千代田区霞ヶ関3-3-1 尚友会館B1F
Tel: 03-3591-5366 FAX: 03-3591-5367
E-mail mt01-ref@kt.rim.or.jp, HP：http://www.ref.or.jp

放射線教育 Radiation Education
Vol. 7, No. 1, p.1−2 (2003)

［巻頭言］

放射線は万物の源

渡邉正己
長崎大学大学院医歯薬学総合研究科
放射線生物学研究室　教授
Masami Watanabe, Division of Radiation Biology,
Graduate School of Biomedical Sciences,
Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan
(nabe@net.nagasaki-u.ac.jp)

順調であった我が国の経済に翳りが見られ、金属が疲労するように社会も疲労していると言われます。五木寛之氏は、ある著書の中でこれを《社会疲労》と表していますが、正に当を得た表現でしょう。私は、"我が国の《社会疲労》は、経済的価値観一辺倒であった活動によって、人々が夢をもって活動できなくなっていることに最大の原因がある"と思います。そして、我が国は二十世紀に実現した物質的発展を支えるに足るだけの文化的発展を伴っていなかったこと、その過程で多様な価値観が失われていることが、国民のコモンセンス（常識）に偏りを生じさせ、国民を覆っている閉塞感を生み出していると言えます。その結果、若者は希望を持てず、社会を支える年齢層の人々は自信を失い、リーダーは過去の繁栄の再来を期待しつつ、二十一世紀における我が国の姿に夢を描けず不安を感ずるようになっています。社会組織は、単に科学技術の振興だけで成り立つものではなく、組織を構成する個人や社会が時代とともに文化的な面でも、社会的な面でも成熟する必要があります。今、我が国を席巻している科学技術優先の経済至上的行動は、日本国民の人間としての品性を失わせ、社会の質を軽薄化することに直結するものだと危惧せねばならないと思います。我が国各界のリーダーが、こうした考えから抜け出せないままに、国民の間に様々な社会問題の解決の手段として、経済的解決しか思い浮

かばない思考経路を根付かせてしまったことが今の社会疲労をますます助長していると言えるのではないでしょうか？

些か突飛なこじつけの様に思われるかもしれませんが、原子力の利用に関する社会の理解とそれに対するリーダーの対応の仕方は、正しく、こうした《社会疲労》の原因と根を同じくするものと思われてなりません。こうした状況を抜け出し社会を健全な状態に維持する唯一の道は、人間一人一人が集団の意志を決定する重要性を持った存在であることを自覚し、自分の論理的判断力を発揮すること以外にあり得ません。そして、人が論理的な思考を獲得するために教育が非常に重要であることは間違いありません。

私は、昨年、4年余り勤めていた副学長職を辞し、家内と四国八十八ケ所巡りを再開しました。公務員の身なので連休の前後に年休を取って 1 回あたり5日間程の遍路を繰り返し昨年末に満願成就することができました。一日平均 30 キロ程の遍路は、当初、私達にとってかなりの苦行で宿につくと這いつくばる状況でしたが、人の体は良く出来たもので、最近は、遍路を楽しむ余裕が持てるようになりました。そうなると、もともと信心が深い訳でもない私でも、札所毎で朗々と詠じられる般若心経の響きに耳を傾け、道中にその意味を考えるようになりました。無心になることが重要であると判っていても、"未知を極める"という研究者の本性が頭をもたげ邪念に操られている訳です。なかなかその内容を極めることは出来ませんが、今、気にかかる一節が冒頭の"色即是空空即是色"です。いま、この拙文を読んで下さっている方もこの一節なら自然に唱えることができるでしょう。しかし、"その意味は？"と問われると些か不如意という状況ではないでしょうか。そこで私の解釈を披露してこの巻頭言の役割を果たそうと思う訳です。曲がりなりにも研究者である私の解釈は、あの有名なアインシュタインの公式 $E=MC^2$ と光のエネルギーを表す公式 $E=h\nu$ を結び付けた $MC^2 = h\nu$ に集約されます。簡単に言えば、物質が光に、光は物質に相互に変わり得るということです。その意味で、質量のある物質を"色"、質量のない光（エネルギー）を"空"と表した般若心経は最先端の原子物理学そのものといえます。"色即是空"は、万物が光と物質の間を行き来するエネルギーだということを示した言葉であるとともにビックバンに始まりブラックホールに終える宇宙の一生を表していると思えます。先人が自分を見つめることで出した結論は、人類が、今、近代科学技術を駆使して求め続けている原子と宇宙のロマンを凝縮したものであったと言えるのではないでしょうか。このように、古人は、意図的であるか否かは別として、原子力や放射線を万物の源として、自然科学的に捉えるばかりでなく人文科学や哲学の対象として扱ってきました。今、《社会疲労》を抜け出し、私達の子孫に残せる社会を維持するために私達に必要な価値観は、意外にこんなところあるのではないか？と思えてなりません。そして、放射線研究は、全ての学問の基礎であり、放射線教育が普遍的な価値観の形成に必要と考える今日この頃です。

放射線教育 Radiation Education
Vol. 7, No. 1, p.3−12 (2003)

高等学校物理教科書における原子力・放射線関係の内容 ～50年間の移り変わり～

一川恵美子*1、 菊池文誠*2
東海大学工学部*1 東海大学理学部*2
（〒2591207 神奈川県平塚市北金目 1117）

（2004年3月5日 受理）

（要旨）50 年分の高等学校物理教科書（以下物理教科書）の原子力・放射線関係の内容を教科書図書館の資料を用い調査した。物理教科書は時代に反映され様々に変化し、幾度も改良がなされてきた。しかし、一般の理解はいまだ不十分である。原子力・放射線教育に関する問題は学校教育全体の問題であり、更には日本の将来についての大きな問題を含んでいると言える。

1. はじめに

日本では原子力の平和利用として約 50 年前からアイトープの利用が始まり、現在、われわれは、医療・工業・農業などの様々な方面で放射線による多大な恩恵を受けている。また、原子力発電は約 30 年前から開始され、当初は日本の総発電力量の約 6.5%を賄っていた。現在では需要が増え、日本の総発電力量の約 35%を担うまでに増加した。しかし、一般社会人の放射線や原子力に対する基本的知識は不十分であり、誤った認識を持つ傾向がある。そこで、放射線利用と原子力発電の発展に伴い物理教科書の内容がどのように変化して来たのかを調査し、これからの原子力・放射線教育について検討を行った。

2. 調査方法

高等学校で使用される教科書は、文部科学省の定める学習指導要領に基づき作成される。また、作成された教科書は、文部科学大臣が行う教科書検定に合格したもののみ高等学校で使用されるよう義務付けられている。学習指導要領とは授業時間数や教育内容を示したもので、昭和 23 年に初めて発表され、約 10 年ごとに現在まで 7 回変更されてきた。表 1. にこれまでの高等学校の学習指導要領の変遷の状況を示した。

まず、過去に物理教科書を出版したことがある会社について調査した。教科書出版社はいくつかあり、その中で、戦後初めて学習指導要領が発表されてから現在まで物理教科書を出版し続けている大日本図書、実教出版、三省堂の 3 社の教科書に的を絞った。そこで、この 3 社の物理教科書を中心に戦後における日本社会の流れと物理教科書の原子力・放射線に関する記載の変化を比較・検討を行った。

教科書の調査に当たっては教科書図書館（東京都江東区千石 1 丁目 9 番 28 号）の資料を用いた。

表 1　高等学校理科の学習指導要領の変遷

施行年次	高等学校理科の学習指導要領の変遷
1948年 (昭和26年)	物理 化学 生物 地学 } 各5単位　1科目選択必修
1956年 (昭和31年)	物理 化学 生物 地学 } 各5*or*3単位　2科目選択必修
1963年 (昭和38年)	物理A,3単位*or*物理B,5単位　(注1) 化学A,3単位*or*化学B,5単位 生物,4単位 地学,2単位 } 2科目以上選択　6単位必修
1973年 (昭和48年)	物理,化学,生物,地学,Ⅰ各3単位　2科目選択　(注2) *or* 基礎理科,6単位 物理,化学,生物,地学,Ⅱ各3単位 } どちらか選択必修
1982年 (昭和57年)	理科Ⅰ,4単位　(注3)　高校1年次必修 理科Ⅱ 物理,化学,生物,地学,各4単位 } 高校2年以上で選択必修
1994年 (平成6年)	物理,化学,生物,地学,ⅠA　各2単位 物理,化学,生物,地学,ⅠB　各4単位 物理,化学,生物,地学,Ⅱ　各2単位 総合理科　4単位 } 2科目選択　(注4)
2003年 (平成15年)	理科基礎 理科総合A,B } 各2単位　最低1科目 物理,化学,生物,地学,Ⅰ　各3単位 物理,化学,生物,地学,Ⅱ　各3単位 } 2科目選択

注 1)　物理AはBに比べて負担の軽い科目

注 2)　物理ⅠとⅡで全分野

注 3)　理科Ⅰ,4 単位の中に 1 単位分の物理分野(力と運動,熱)を含む

注 4)　物理ⅠAは負担の軽い科目(項目選択)、物理ⅠBとⅡで全分野

3. 昭和 23 年からの物理教科書

昭和 20 年、第二次世界大戦終戦と同時に日本は連合国の占領下に置かれ、原子力に関する研究を禁止された。しかしその間、海外では原子力平和利用に関する研究が進み、日本でも資源の少ない国の再建の為に、原子力エネルギーが必要だと国民の多くが感じていた。

日本は戦後の混乱期を経て、昭和 25 年ようやく、アメリカから初の研究用 RI が寄贈された。これを期に研究開発が再開されるようになると、原子力の分野ではまずアイソトープの利用研究が中心となっていった。

昭和 23 年、文部省より戦後初めて学習指導要領が発表された。そして、各教科書出版社はこの学習指導要領に基づき教科書を作成しなければならなくなった。この時代の教科書は上、下、またはⅠ、Ⅱ、の 2 冊(440～500 ページ程度)で構成され、値段は 70～75 円であった。物理教科書本文中に使用されていた原子力、放射線関係の用語は

放射能、放射能線
放射性物質、放射能性物質
放射性元素、放射能性元素
放射能系列、放射能列
β線、ビーター線
レントゲン、レンチェン

} など各出版社によって様々なかき方がされていた。

各出版社間で言語の統一性がなかった。放射能の定義を

〔大日本図書、「高等学校の科学　物理Ⅱ」昭和 25 年発行〕では「**放射線を出すことを放射能といい…**」と記載されており不正確であった。また、物理教科書の中で原子力や放射線に関するページ数は一番少なく教科書全体の 6%～9%程度であった。自然放射線については宇宙線のみ記載されているが、未記載の教科書もあった。

昭和 26 年 には世界で最初の原子力発電がアメリカで行われた。日本でも原子力平和利用に対する期待が芽生え、原子力発電を将来実現するための研究に着手した。

〔三省堂、「高等学校物理 下」昭和 27 年発行〕では「**原子力の平和利用に関しては現在盛んに研究が続けられその将来は各方向から大いに期待されている**」

〔実教出版、「物理の教室 下」昭和 28 年発行〕では「**数の核が同時に分裂すれば大きなエネルギーが取り出せてこのエネルギーを熱のかたちで利用すれば新しい動力の源となるわけである。これを原子力というが、今後研究が進むにつれて原子の応用は人類の生活に大きな幸福を与えてくれると思われる**」などの記載があった。物理教科書には、その当時における最先端の研究内容が紹介されており、原子力の今後を期待した表現が多く目に付いた。

4. 昭和 31 年からの物理教科書

昭和 31 年から施行された学習指導要領の下では、3 単位および 5 単位用の 2 種類の物理教科書が使用された。5 単位用は 370～440 ページで構成され、価格は 158 円～190 円であった。3 単位用は 210～240 ページで 93～111 円であった。

昭和 26 年 日本放射性同位元素協会(現アイソトープ協会)の設立に伴い、昭和 31 年か

らの物理教科書にはアイソトープという言葉が始めて登場し、索引にも記載された。

昭和29年には、日本で初めて原子力関係予算2億5000万円が提出され、翌年の昭和30年、茨城県東海村に財団法人原子力研究所（現日本原子力研究所）が設立され、ここに研究用原子炉が設置された。

この時代から原子力発電が記載された物理教科書が登場し、口絵(写真)が数ページ付くようになった。原子炉の写真も記載され、霧箱による飛跡、原子核反応炉とウラニウム、ファン・デ・グラーフ加速器、γ線照射室などの写真もあった。

昭和31年1月 原子力基本法を始めとする関連法が施行され、同時に原子力委員会が発足した。同年4月 東海大学工学部応用理学科に日本初の原子力工学専攻課程が誕生した。翌32年には、放射線医学総合研究所が発足し、研究を本格的に遂行するための研究機関も整えられた。日本では原子力の平和利用に関する研究が目覚しく進む一方、海外では核実験が盛んに行われていた。

昭和29年 アメリカが中部太平洋で行った水爆実験で、当時ビキニ環礁付近を航海していた日本のマグロ漁船「第五福竜丸」が放射性降下物を浴び被曝した。この時代の教科書には水素爆弾や原子爆弾についての記述が多く見られるが、記述の内容は不十分である。

〔実教出版「高校物理 3単位用」昭和33年発行〕教科書には、原子力発電が原爆や水爆を利用しているとも取れる記述がある。

また、ビキニ事件についての記述とともに、放射線の人体影響に関する記述も記載された教科書も登場した。

〔大日本図書「物理 5単位用」昭和33年〕では「放射線は元来生体に有害なものであるから、放射性元素の取扱には大変な注意を要する。放射性元素をむやみに身体にさらすと大きな障害を受ける。今後は放射性同位元素の利用はますます増えるであろうから、その生体に対する影響も十分研究して科学の成果を人世に利用するよう努力しなければならない。」とあり、その他の物理教科書にも、放射線の安全性,人体に対する影響について(2～4行程度)記載されるようになった。自然放射線については一部

〔大日本図書「物理（3単位用）」昭和34年発行〕→「地球上にはごく微量のラジウム(1g中 10^{-12}g くらい)が含まれているのでわずかながら放射線が地表にあるのが普通である。」

と宇宙線以外にも記載された物理教科書があるが、ほとんどの教科書ではまだ宇宙線についてのみである。

5. 昭和38年からの物理教科書

昭和38年から施行された学習指導要領の下で、物理A（3単位用、230～260ページ）および物理B（5単位用、410～440ページ）の2種類の物理教科書が使用された。また物理教科書の値段が出版社を問わず、3単位用144円、5単位239円と均一化された。

この時代は高度経済成長期であり、ベビーブーム世代に生まれた人達の高等学校への進学率が約60%から90%へと急成長した。教科書を開くと周期表や定数表などが定着し、現在の教科書に近づいた。以前教科書の著作者は1人からせいぜい5人程度であったが、この時代より5人から10人に増えた。今までにはなかった「素粒子」と言う項目が置か

れた教科書が登場したのもこの時代からである。教科書の口絵は種類・ページ数ともに増加し、原子・放射線利用に関する写真が 1 ページから 3 ページ程度掲載されるようになった。

また、初めて放射線の単位について記載された教科書が登場した。

〔大日本図書「新版 物理A」昭和42年発行〕しかし、Ci,R,についてのみであった。 放射線の種類については、以前は放射線にはα、β、γ線の 3 種類のみと言うような記述しかなかった。しかし、一部物理教科書では

〔三省堂「標準物理A 改訂版」 昭和 42 年発行〕→**「赤外線、光、紫外線、X線、γ線などはみな放射線である。」**と正確に記載されている。

昭和 32 年 8 月 初の小型研究用原子炉(JRR-1)が臨界となった。これは発電用原子炉開発の多くの研究者の役に立った。同年 11 月、日本原子力産業会議が中心となり日本原子力発電株式会社が設立された。昭和 34 年には 原子力の平和利用に関する学術、技術の発展のため日本原子力学会が発足し、されに、昭和38年10月 アメリカより導入したJPDRによって日本初の原子力発電に成功した。

〔実教出版「物理B 改訂版」昭和 42 年発行〕教科書には、原子力発電について「原子炉」と言う小項目が置かれ、写真と共に発電の仕組みや原理が 3 ページわたり書かれている。〔三省堂「標準物理A 改訂版」昭和 42 年発行〕でも**「原子力の平和利用の研究は盛んである。」**という記載と共に原子炉の写真 2 枚と濃縮ウランの棒が写った写真などがあった。その他の物理教科書でも現在の教科書に比べ、原子力発電について詳しい内容が記載されていた。

6. 昭和48年からの物理教科書

昭和 48 年から施行された学習指導要領の下では、物理Ⅰ、Ⅱの 2 種類の教科書が使用され、Ⅰの上に選択という形でⅡを積み上げる方式がとられた。また、昭和 48 年以降の教科書は全て「文部大臣が認可し官報で告示した定価」となり、値段の記載がなくなった。

昭和 47 年、ローマクラブは、われわれの住んでいる地球の環境や資源が有限であるという「成長の限界」の認識を示し、人類の将来についての重大な警告を発した。このような時代の流れと共に物理教科書も新エネルギーの重要性を見出し始め、口絵に新エネルギー源としての太陽炉〔**大日本図書「改訂 物理Ⅰ」 昭和 52 年**〕が初めて記載された。また、高校物理の教科書としては初めて放射線に関する実験が紹介された（GM 計数管を用いた放射線測定)。また、全ての教科書において放射線の単位について 3～5 行程度記載され、放射能の定義についても正しく記載されるようになった。

以前の物理教科書に比べ、人体影響についてはすべての教科書で 1/2 ページ程度に記述されるようになった。中でも、

〔**大日本図書「改訂 物理Ⅰ」 昭和 52 年**〕の教科書には**「国際的に人体に対する放射線の許容量が定められており、これを超えないように…」**、と内容は薄いが放射線の人体影響に関する記述が多く見られる。

物理Ⅱ教科書の口絵には、高エネルギー物理学研究所に昭和 51 年設置された国内最大の加速器写真が 1 ページにわたって記載されていた。半減期についても、ある原子数が崩

壊してその量が始めの量の半分になるまでの時間といった定義とともに〔**大日本図書「改訂 物理Ⅱ」　昭和 53 年**〕図説も記載されていた。さらに、「種々の同位体の例」として元素 11 個の質量数、原子数、存在する割合(%)が記載されていた。放射線測定器についても、今までは GM 計数管/霧箱だけだったがシンチレーションカウンターの記載も始まった。

7．昭和 57 年からの教科書

この時代の日本は科学技術の上で最先進国となり、高校への進学率も 95%以上に達した。昭和 57 年から施行された学習指導要領の下では、“ゆとり”という表現のもとに、理科の全科目が選択性となり、同時に、高校 1 年次で週 4 時間の「理科Ⅰ」が必修となった。高校 2 年以上で使用された物理教科書にはA4 版の大きさのものが登場した。

物理教科書の口絵には、

〔**大日本図書「高校新物理」昭和 63 年**〕では「**X線を用いたコンピューターの断層診断装置**」「**頭部横断面の画像**」等が記載され、ページ数が増えた。さらに、放射線測定器については、サーベイメータ、霧箱、半導体検出器、泡箱、電離箱など様々な測定器が紹介されるようになった。人体影響については、

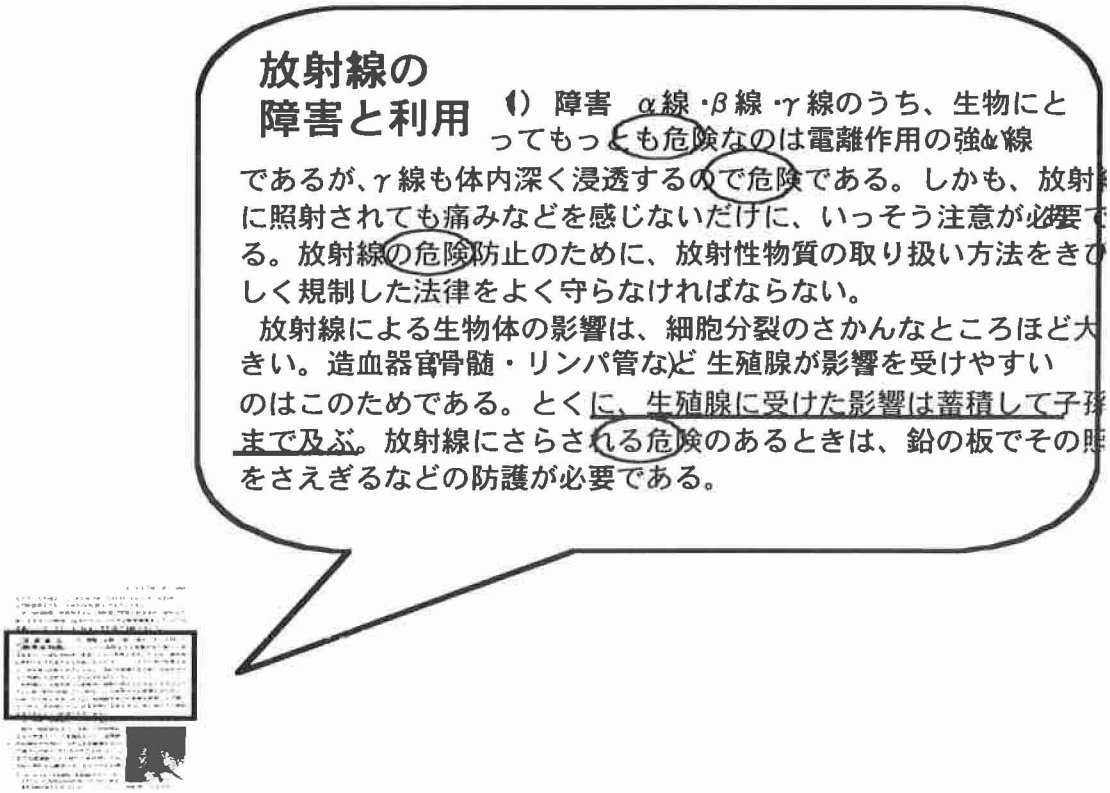
〔**大日本図書「高校新物理」昭和 63 年**〕においては「**放射線が人体に有害なのは放射線が人体を通過し、電離作用等によって生体細胞(特に遺伝子)を破壊してしまうことがあるからである。**」といった詳しい記載がされるようになった。また、国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告も別枠で記載されており、より専門的な表現が使われ始めた。放射線利用に関する記述は、全ての教科書でページ数に増加傾向が見られた。厚み計、トレーサー、ガン治療、食物の品種改良(ジャガイモの発芽防止)、レントゲン、年代測定、非破壊検査、殺菌(食品)、原子力電池など様々な分野で利用されていることが紹介されていた。

〔**三省堂「明解 物理」平成 2 年**〕では自然放射線については文章だけでなく、図、絵などを用いて詳しく記述されるようになった。放射線業務従事者に対して 5rem/y、一般人に対して 0.5rem/y といった被ばく線量限度とともに、大地や食物や宇宙から受ける、X線照射の具体的な数値が記載されていた。単位についても、Bq,Ci,1Ci=3.7 × 10^{10} Gy,rad,1Gy=100rad　Sv,rem,1Sv=100rem など以前に比べ、より詳しい記載がされるようになった。また、原子爆弾と原子力発電とは異なるという記載があり、良い傾向である。

半減期について $N = No\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ の公式がは全ての物理教科書で記載されるようになった。

8．平成 6 年度以降の教科書

原子力・放射線に関する基本的な事項は全ての教科書で記載されていた。しかし、一部の教科書で正確さに欠ける記述がみられた。例えば、平成 15 年度一番多くの高校で採用されている某会社の高等学校物理教科書の放射線障害に関する記述の中で、



生殖腺に受けた影響は蓄積して子孫にまで及ぶ。」といった記載があるが、現段階で人間に関する遺伝的影響の確かな証拠は得られていない。更に、放射線障害に関するこのわずか 11 行の中に「危険」という言葉が 4 回記述されている。しかし、どれぐらいの放射線を受けると危険なのか、具体的な数値、例えは一切示されておらず、誤った認識を与える恐れが示唆される。社会科の教科書ならばまだしも物理の教科書である以上、単に危険と記載するのではなく、身の回りの放射線量の具体的な数値と共にもっと定量的表現がなされるべきである。

平成 15 年度より施行された新学習指導要領の下では物理Ⅰ、Ⅱ (それぞれ 3 単位)の 2 種類の物理教科書が使用されている。先に指摘した記載も平成 16 年度から新しく使用される物理Ⅱ教科書では大分改善されていて、好ましい。

最後に核融合に関する記載を 50 年間調査した結果を報告する。〔**実教出版「物理 5 単位用」昭和 35 年発行**〕では、**「多くの科学者の非常な努力により、融合反応の平和的な利用も近く実現する見込みが確実となった。」**と期待に夢膨らませていた。そこから約 20 年後の〔**実教出版「物理Ⅰ 改訂版」昭和 52 年発行**〕では、**「熱核反応を人工的に実現するためには、気体を数千万度の高温にして、これを 1 か所に閉じこめておくことが必要である。これは、現在各国で盛んに研究されていて、近い将来に実現されるだろう。」**と記載されていた。さらに 25 年後の〔**実教出版「物理Ⅱ 改訂版」平成 16 年発行**〕では、**「核融合によって放出されるエネルギーを利用するための研究が続けられている。しかし、技術的に難しく、まだ実用化の見通しは立っていない。」**と記載されている。最初は大きな期待をもたれた核融合であったが現実には 50 年経過してもほとんど進展していないことが示される結果となった。

9. 考察

物理教科書には全ての時代において、その当時の最先端の内容が記載されており、各出版社の創意工夫が見られた。現在の教科書は一部で科学的に不正確な記述があるものの、原子力・放射線に関する基本事項は全ての教科書で記述されている。50 年分の物理教科書における原子力・放射線の扱いについて（付表）にまとめた。物理教科書の内容と質はともに年々向上しているのが、その物理教科書を使用する教育システムに問題がある。

平成 15 年度より施行された学習指導要領の下では「ゆとり教育」の名のもとに週 5 日制が導入され、月曜休日増加も重なり、学習時間の大幅な減少となった。これに伴い小中学校の学習内容が縮小され、学力低下がさらに深刻化している。理科関係では中学校で「仕事」「熱量」「電力」「イオン」など従来の内容の約 3 分の 1 が高校に移行された。その結果高校で扱う内容が大幅に増加されたのに加え、「理科総合 A」「理科総合 B」「理科基礎」といった中学理科の復習的な科目が必修になっているため明らかに時間不足という事態を招いている。さらに例えば選択科目の「物理Ⅱ」では現代物理学に関する大項目のうち「物質と原子」と「原子と原子核」についてはいずれか選択ということになっていて、選択科目の内容の一部がさらに選択になっているという複雑さである。このようなことは前代未聞である。

これに対し日本物理学会、日本物理教育学会は全国の国公私立大学の学長宛に 2006 年度以降の大学入試に、物理に関しては現代物理を出題の範囲からはずすよう要望書が出された。[14) 15)] これは入試の公平性から見れば当然のことであろう。しかし、その原因となっているのはこれまでで最悪といえるこのたびの学習指導要領の内容によるものであり、中・高間および高等学校の各教科間での重複や欠落などの整合性のないずさんなカリキュラムこそ問題なのである

また、最近の傾向として、どの出版社の物理教科書も大学入試に対応できるようハイレベルな内容を記載している。[16)] この結果、教科書を 1 度読んだだけでは内容を理解するのは難しく、進学校とそうでない高校が同じ教科書を使用するには無理があるように感じる。このような状況を改善するためにもやはり学習指導要領の見直しが必要であり、各年代別に対応した教科書を作成する必要がある。それぞれの個性や進路に応じた教育システムと、それに対する多種多様な教科書が使用出来る環境が整うことを期待する。

近年のいわゆる「理科離れ」の現象の中で高校においても物理の履修者は減少している。一般市民が原子力や放射線の知識を得るには教科書ではなく、マスコミの断片的な情報であり、正確さを欠いたものも多い。[17)] これが社会で混乱を招いている。そして単に原子力・放射線に限らず、国民の平均的レベルである高校の理科教育の弱体化は国家の将来にとっても由々しい問題である。

10. おわりに

本研究は主として過去および現在の教科書の内容分析によって遂行された。しかしこれだけでなく教員の声や実際に教科書で学んだ生徒の反応などを盛り込んで検討することが今後の課題である。また、戦前の教科書についても調査すれば原子力の記述はないとしても放射線（特にX線）の記述がどうであったかは歴史的にも興味深い課題である

本稿は著者の一人（一川恵美子）の東海大学原子力工学科平成15年度卒業論文の一部を書き改めたものである。本研究の遂行に当たり教科書の調査方法につき有益な助言を頂いた放射線教育フォーラムの関本順子氏および終始変わらぬご指導と激励を頂いた東海大学原子力工学科の横地明主任教授にお礼を申し上げます。

参考文献

1)国際出版研究所：生活情報シリーズ⑫　環境とエネルギー別冊　CD-ROM「原子力図表集」（平成14年3月1日）

2)（財）日本原子力文化振興財団：放射線という言葉に関する意識調査、（平成 14 年 3 月）

3)松浦辰男・飯利雄一：放射線・原子力教育と教科書、研成社(1998)

4)日本原子力学会：初等・中等教育における「エネルギー」の扱いと高等学校学習指導領に関する要望書、平成 8 年 5 月、（参考資料）「高等学校教科書中の原子力に関する不適切な記述例」

5)江田稔：「文部省の学習指導要領におけるエネルギー・原子力の扱いの視点」.
エネルギーレビュー　Vol.15 No.3　(1995)

6)松浦辰男:「平成 16 年度より使用される高等学校新教科書におけるエネルギー・環境・原子力関係の記述について」日本原子力学会 2003 秋の大会、M6　予稿集

7)増子寛・風間重雄「高等学校における理科教育・物理教育―理科教員数の変遷の実態調査から―」応用物理　第68巻　第3号　(1999)

8)（社）日本原子力学会編：原子力がひらく世紀、（2001）

9)日本原子力産業会議(編集発行)：原子力年鑑 2003 別冊 CD-ROM「原子力年表」

10)（財）高度情報科学技術研究機構　原子力 PA データーベース原子力図書館「げんしろう」：http//sta-atm.jst.go.jp　原子力百科事典 (ATOMICA)

11)菊池文誠：「放射線の一世紀と史跡」物理教育、第42巻、第2号、（1994）

12)山崎正勝：「歴史から見えてくる日本の科学教育政策の問題」パリティ、Vol.14、No.12、（1999）

13)唐木宏：「危機に立つ高校物理教育」パリティ、Vol.5、No.6、（1990）

14)日本物理学会：日本物理学会誌、Vol.58、No.10、（2003）

15)日本物理教育学会：物理教育：第51巻、第2号、（2003）

16)西尾信一、鈴木亭、笠耐、青野修：「教科書作成過程の実状と改善の方向」物理教育第47巻、第6号、（1999）

17)菊池文誠：Isotope　News、1985年2月号

付表　　高等学校物理教科書における原子力・放射線の扱いについて

年次	放射線利用	放射線の影響	原子力発電	エネルギー・環境問題	核	放射能の定義	半減期	自然放射線	単位	実験
1948年 (昭和23年)	×	×	×	×	×	△ 正確さに欠ける記述が目立つ	△ 意味は適切である	△ 宇宙線のみ	×	×
1956年 (昭和31年)	○ 1/2～1ページ程度	△ 出版社により数行記述あり	○ 図とともに数行～1ページ記述あり	×	×	△ 正確さに欠ける記述が目立つ	△ 意味は適切である	△ 宇宙線のみ、または触れられていない	×	×
1963年 (昭和38年)	◎ 項目が置かれ1/2～2ページt程度	△ 出版社により数行記述あり	◎ 図、記述とも詳しく説明されている	×	○ 核融合のみ1/2～2ページ	△ 一部の教科書で正確さに欠ける	△ 意味は適切である	△ 宇宙線のみ、または触れられていない	△ Ci,Rのみ、または触れられていない	×
1973年 (昭和48年)	◎ 項目が置かれ医療,農業,工業について	○ 5～10行	○ 図とともに数行～1ページ	×	◎ 5～8ページ(物理(監))	◎ 全ての教科書で正確に記述	○ 図と共に記述がある	△ 宇宙線のみ、または触れられていない	○ 3～5行程度R,rem,Ci	△ 一部教科書でGM管を用い放射線測定
1982年 (昭和57年)	◎ 年代測定について、X線画像診断写真	○ 5～10行	○ 図と数行の記述、原子炉の安全性	△ 一部の教科書で2～3行	◎ 4～7ページ	◎ 全ての教科書で正確に記述	◎ 項目が置かれ図や式と共に記述	◎ 身の回りの放射線の具体例と共に単位に関する記述が1/2～2ページ		△ 一部教科書で放射線測定、半減期実験
1994年 (平成6年)	◎ 様々な放射線利用の写真、1/2～1ページ	○ 1/2～1ページ放射線量と障害について	○ 図と数行の記述、原子炉の安全性	△ 新エネルギー発電の写真	◎ 6～9ページ(物理(監))	◎ 全ての教科書で正確に記述	◎ 項目が置かれ図や式と共に記述1ページ	○ 身の回りの放射線の具体例	◎ Bq,Gy,Sv,rem項目が置かれ1/2ページ	◎ 全ての教科書で放射線に関する実験がある
2003年 (平成15年)	◎ 項目が置かれ医療,農業,工業について	○ 1/2～1ページ放射線量と障害について	○ 図と数行の記述、原子炉の安全性	△ 一部の教科書で2～3行	○ 核分裂、核融合について	◎ 全ての教科書で正確に記述	◎ 項目が置かれ図や式と共に記述1ページ	○ 身の回りの放射線の具体例	◎ Bq,Gy,Sv,1ページ	◎ 全ての教科書で放射線に関する実験がある

◎：詳しく扱っている　　○：扱っている　　△：簡単に扱っている　　×：扱っていない

放射線教育 Radiation Education
Vol. 7, No. 1, p.13—20 (2003)

同位体を放射線にして測定する

加速器質量分析法

小高正敬
放射線教育フォーラム
100-0013 東京都千代田区霞ヶ関 3-3-1 尚友会館
（2004 年 3 月 5 日　受理）

加速器質量分析法では、同位体を高エネルギーを持った高速の荷電粒子、すなわち放射線に変えて、その量を測定します。従って非常に感度が良く、他の方法では測定の難しい、極微量しか存在しない同位体の定量もできます。ここでは加速器質量分析法の原理、特徴、および考古学、化学、薬学、科学捜査への応用について述べます。

1. はじめに

最近、考古学の話題が新聞、TV で報道されて注目を集めています。例えば、ギホン（Gihon）の泉からエルサレム（Jerusalem）に水を引くために造られたシロアム（Siloam）のトンネルが遺跡として現在も残っています。このトンネルについては旧約聖書に記述があり、それによると紀元前 700 年ごろ造られたそうです。イスラエルのヘブライ大学の研究者 Frumkin らは、このトンネルから木片などの試料を採取して、加速器質量分析法などで年代測定を行なってみました[1]。その測定結果は、紀元前 700 年ごろにトンネルが造られたことを示しました。旧約聖書の記述どおりだったのです。この研究成果は２００３年９月に Nature に発表されましたが、その後すぐ日本でも新聞で報道されましたので、ご存知の方も多いことと思います。

さて彼らが用いた加速器質量分析法とはどのような分析法なのでしょうか。加速器質量分析法（Accelerator Mass Spectrometry, AMS 法）は加速器を組み込んだ質量分析計（Accelerator Mass Spectrometer）を用いて、同位体の濃度比を測定する分析法です。１９３９年に、カリフォルニア大学バークレー校の Alvarez と Cornog が初めて加速器質量分析法を用いました[2),3)]。彼らはサイクロトロンを組み込んだ質量分析計を用いてヘリウムの同位体 ^{3}He と水素の同位体 ^{3}H の核的性質の違いを研究しました。しかしその後約４０年間この分析方法は応用されませんでしたが、１９７７年になって同じバークレー校の Muller は、ラジオアイソトープを用いる年代法で放出される放射線を測定するより、サイクロトロンを用いた加速器質量分析法でラジオアイソトープの数を測定するほうが感度が上がることを示しました[4)]。また同じ年にアメリカのロチェスター大学の Bennett ら[5)]およびカナダのサイモンフレーザー大学の Nelson ら[6)]はタンデム型ヴァンデグラーフ加速器を用いた加速器質量分析法で初めて炭素同位体 ^{12}C、^{13}C、^{14}C の濃度比を測定しました。これらの研究が切っ掛けになって加速器質量分析法が広く知られるようになり、^{3}H、^{10}Be、^{26}Al、^{36}Cl、^{39}Ar、^{41}Ca、^{55}Fe、^{59}Ni、^{129}I、^{236}U など、^{14}C 以外の同位体の測定も試みられ、いろいろな分野の研究に応用されるようになりました。ここでは ^{14}C の測定を例にして話

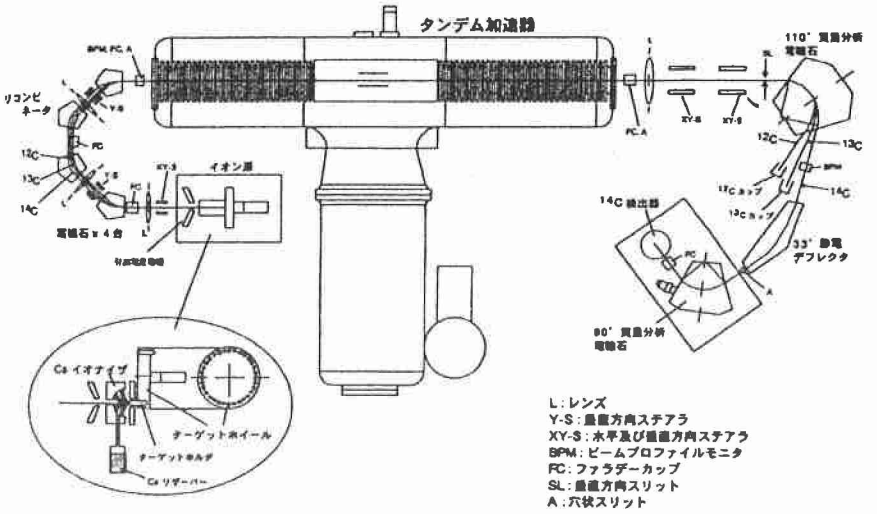
を進めていきます。

2. 測定原理と特徴

自然界に存在する炭素は、３つの同位体 ^{12}C 、^{13}C、 ^{14}C からなることが知られています。そして炭素の 98.9%が ^{12}C 、1.1%が ^{13}C です。 ^{14}C は%で表せないほどの極微量しか存在していません。炭素原子１兆個につき１個程度が ^{14}C です。それでも現代の炭素試料 1 mg には ^{14}C が約６０００万個程度含まれています[6]。今この ^{14}C を測定することを考えます。まず ^{14}C がβ崩壊する放射性同位体なので、その線を測定することにより ^{14}C の量を決めることを考えてみましょう。^{14}C の半減期は５７３０年ですので、この試料では１日に約２０個の ^{14}C がβ崩壊しβ線を放出しますが、この程度の少ない数のβ線を測定して、信頼できる正確な値を求めることは難しいことです。むしろ約６０００万個存在している ^{14}C 原子の数を数えたほうが良いということになります。β線よりもそのβ線を放出する ^{14}C 原子本体の数を測定したほうが良いということです。そこですぐ思いつくのは質量分析計の使用です。質量分析計は、同じエネルギーを持ったイオンは磁場の中で質量の重いものほど大きな軌道（曲率半径）をえがいて飛ぶという性質を利用します。例えば３種類の同位体,^{12}C、^{13}C、^{14}C が存在する炭素の場合、これらをイオン化して $^{12}C^+$、$^{13}C^+$、$^{14}C^+$ を生成させることができます。この３種類のイオンが磁場の中に送り込まれると $^{14}C^+$ が一番外側の軌道を飛び、そのすぐ内側の軌道を２番目に重い $^{13}C^+$が飛び、それよりさらに内側の軌道を最も軽い $^{12}C^+$が飛びます。この別れて飛ぶ同位体１個１個をそれぞれ、ファラデイカップ（別名ファラデイゲージ）という電流検出器で測定してやれば、炭素同位体の濃度比が分かることになります。質量分析計ではこのように質量数の区別はできますが、元素の区別はできません。従って試料中に ^{14}C と同じ質量数をもつ ^{14}N などが混じっていると、区別して測定できないので正確な ^{14}C の量を決めることはできなくなります。

加速器質量分析法はこの問題を見事に解決してくれます。タンデム型加速器を組み込んだ加速器質量分析計の１例（オランダ、High Voltage Engineering Europe(HVEE)社製）を図―１に示します[9]。この図を用いて加速器質量分析法について説明していきます。図の左にあるイオン源のターゲットホイールにグラファイトにした炭素試料を取り付けて、セシウム陽イオン（Cs^+）を照射します。そうするとグラファイトから種々のマイナスに帯電した原子イオンや分子イオン、$^{12}C^-$, $^{13}C^-$, $^{14}C^-$, $^{12}CH^-$, $^{13}CH^-$, $^{12}CD^-$などが生成して飛び出します。マイナスイオンが発生する機構はまだよく分かっていませんが、$^{13}CH^-$ は $^{14}C^-$,よりも 10^7 倍も多量に生成することが実験で明らかにされています。しかし $^{13}CH^-$などの分子イオンは加速器の中で消滅します。

グラファイトから飛び出したマイナスイオンは、２台の電磁石を１組にして２組を線対称に配置した同時入射系（リコンビネーター）に送られます。そしてまず、はじめの１組の電磁石で質量数１２のイオン、１３のイオン、１４のイオンを別々の軌道を飛ぶように分けられます。通常の炭素試料には ^{12}C が ^{13}C の約１００倍含まれています。この多量の ^{12}C をそのまま加速器に導入すると、加速器に過度の負担がかかるので、イオンを別々の軌道に分けた後、質量数１２のイオンの量は回転円盤スリットを用いて 1/100 にします。



図―１　タンデム型加速器を組み込んだ加速器質量分析計の一例[7)]
〔オランダ、High Voltage Engineering Europe(HVEE)社製〕

それから２組目の電磁石で、別々の軌道を飛んでいたマイナスイオンは、また一緒に飛ぶようにしてから、加速器に導入します。タンデム型の加速器は中央部に正電極がありますので、マイナスイオンは中央の電極に向かって加速されます。中央部には電極のほかに荷電変換カナルがあり、そこでマイナスの原子イオンは、アルゴンガスや固体の薄膜によって、核外電子を剥ぎ取られプラスに帯電した原子イオン $^{12}C^{+}$, $^{12}C^{2+}$, $^{12}C^{3+}$, $^{13}C^{+}$, $^{13}C^{2+}$, $^{13}C^{3+}$, $^{14}C^{+}$, $^{14}C^{2+}$, $^{14}C^{3+}$などになります。マイナスの分子イオン $^{12}CH^{-}$, $^{12}CD^{-}$, $^{13}CH^{-}$などは分解して構成原子のプラスイオンになります。従ってここで ^{14}C と同じ質量数をもっていて分析の邪魔になる分子イオン $^{12}CD^{-}$, $^{13}CH^{-}$ を消滅させることが出来ます。プラスイオンになったイオンはさらに加速されてから加速器を飛び出します。三種類の炭素同位体は高速の荷電粒子になって、すなわち放射線になって飛び出していくわけです。その後、磁場と電場の組み合わせによって+3 価のイオンのみが選別されて、数の多い $^{12}C^{3+}$ と $^{13}C^{3+}$はファラデイカップを用いて、数の少ない $^{14}C^{3+}$は重イオン検出器を用いて測定されます。重イオン検出器（イソブタンガス電離箱）は、高速のイオンがガス体を通過する際のエネルギー損失率はイオンの原子核の電荷（原子番号と等しい）の２乗に比例することを利用して、$^{14}C^{3+}$とその同重体（^{14}N）や他のバックグランドイオンと区別して測定できます。ここまでの話で“同位体を放射線にして測定する”ことができることをご理解していただけたと思います。

この加速器質量分析計で ^{14}C の量を測定して試料の年代を決めることができます。ところで ^{14}C を測定すると何故年代が分かるのでしょうか。それは次のような理由によります。天然の炭素には安定同位体 ^{12}C、^{13}C と放射性同位体 ^{14}C が存在します。^{14}C は地球に降り注ぐ宇宙線によって、大気上層部（成層圏の下層部と対流圏の上層部）で生成されます。宇宙線は大気成分と反応して中性子を作り出します。この中性子（n）が大気中の ^{14}N と次のような核反応を起こして ^{14}C と陽子（p）が生成します。

$$^{14}N + n \rightarrow {}^{14}C + p$$

生成された ^{14}C は酸化されて二酸化炭素 $^{14}CO_2$ となり大気中に拡散して炭素の安定同位体からできている二酸化炭素 $^{12}CO_2$ および $^{13}CO_2$ と混合します。宇宙線によって生成される ^{14}C の量が何時も一定で、しかも生成と崩壊の間に平衡が成立していれば、大気中の ^{14}C の濃度は何時でも一定となります。植物は光合成により大気から二酸化炭素を取り込みます。生きている植物の炭素同位体組成は大気中のその組成に等しくなります。食物連鎖で結ばれている動物も同じ組成を持ちます。動植物が死ぬと新たに炭素を取り込まなくなります。そうしますと炭素の安定同位体 ^{12}C、^{13}C の量は変わりませんが、放射性同位体 ^{14}C は半減期 5730 年で ^{14}N にβ崩壊して減少します。それで動植物に含まれている ^{14}C の量は、死んでからの時間が経つほど少なくなります。過去の動植物も現在の動植物と同じ炭素同位体組成を持っていたと仮定すると、^{14}C の減少量から過去の動植物が生きていた年代を決めることができます。

ここで話を元に戻しまして、また加速器質量分析法について説明していきます。加速器質量分析法による ^{14}C 年代測定の性能をβ線測定法によるその性能と比較して表―1に示します。

表―1　加速器質量分析法とβ線測定法による ^{14}C 年代測定の性能比較

	加速器質量分析法	β線測定法
測定に必要な炭素量	0.1 – 1 mg	2.2 g
測定時間	20 – 40 分	16 – 20 時間
測定可能な年代	約 6 万年前まで	約 4 万年前まで
年代測定誤差	±25 年	±80 年

表―1から加速器質量分析法は次のような特徴をもつことが明らかです。

（1）　炭素試料はほんの少量でよい。β線測定法で必要な炭素量の 1/2200 – 1/22000 という微量でよいので、量が少なくて今までβ線測定法では測定不可能だった試料まで測定できます。

（2）　1 試料あたりの測定時間は 20 分から 40 分程度でよい。β線測定法では 1 日かけてやっと 1 試料の測定が完了したのですが、それに比べたら格段の短縮です。したがって 1 日に多数の試料を測定でき非常に能率がよくなりました。

（3）　非常に微量の ^{14}C を正確に測定できるので、約 6 万年前の古い試料まで測定可能となりました。また測定誤差も±25 年と小さくなりました。

以上が ^{14}C 年代測定に利用されたときの加速器質量分析法の特徴です。極微量の試料で、短時間の測定時間で、正確な定量が精度良くできるという特徴は、もちろん他の RI や安定同位体を測定するときにも有効です。また前に述べましたが、いわゆる質量分析計では区別して測定できないので問題となる同重体や質量の等しい分子イオンを、加速器質量分析法では分けてあるいは消滅させて測定できるので、他の方法よりも正確な分析結果が得られますが、このことは特記すべき長所と思います。

3. 応用

現在、加速器質量分析法は極低濃度の長寿命放射性同位体や安定同位体を測定する優れた手段として、考古学、地球科学、化学、薬学、物理学、医学、生物学などさまざまな分野で応用されています。例えば次のような応用があります。

（1）弥生時代の開始年代を決める[7)]

国立歴史民俗博物館の春成秀爾、今村峯雄らは稲作技術が日本に伝来したのは、これまでの定説より約５００年も早い紀元前１０００年ごろであるという研究結果を発表しました。すなわち弥生時代の開始年代が約５００年さかのぼるということです。２００３年５月１９日のことです。彼らは九州地方の遺跡などから出土した土器に付着したススやおこげ、炭化米、水田の水路に打ち込まれた木杭などの年代を、加速器質量分析法を用いて分析しました。その結果上記のような考古学界を揺るがすような驚くべき結論を得たとのことです。

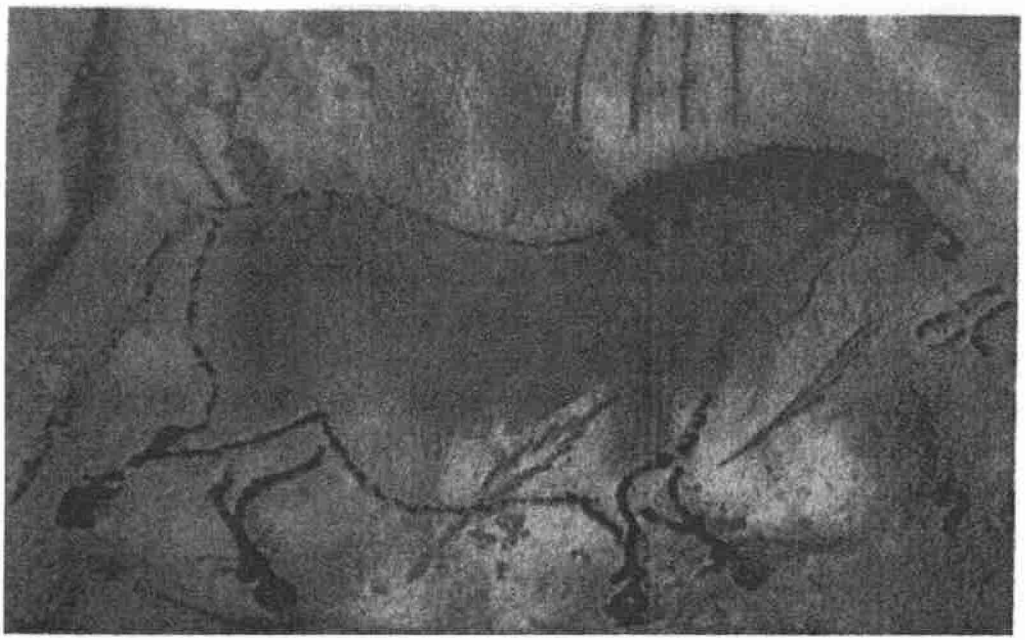
もう少し詳しくお話しましょう。採取した試料の量は、数十から数百ミリグラムです。採取した試料は、まず純水を用いた超音波洗浄を行なって、表面に付いている汚染物質を除去します。その後アセトンを用いて、超音波洗浄で落ちなかった有機物を除去します。次にまた純水で洗い、そして乾燥させます。（アセトンは多くの有機物を溶かすことができる優れた溶媒として知られています。）これだけの処理で 100%汚染物質が除去されることはありませんので、さらに酸・アルカリ・酸処理を行ないます。すなわち、試料を塩酸水溶液に入れて加温して洗います。こうすると試料についていた炭酸塩などの汚染物質に由来する炭素を除去できます。この後試料を水酸化ナトリウム水溶液に入れて加温して洗います。これでまだ試料に付いていたフミン酸などの有機酸が溶け出します。それからもう一度塩酸水溶液に入れて加温して洗い、次に純水でよく洗って乾燥させます。これで試料の洗浄は終わりです。洗浄済の試料数ミリグラムから十数ミリグラムを酸化銅とともにガラス管にいれて、真空ラインにつなぎ真空にしてから封じ切ります。これを電気炉に入れて加熱して、試料中に含まれる炭素を全て炭酸ガスにします。このとき炭酸ガスのほかに水や窒素などが生成しますので、また真空ラインにつなぎ低温のトラップを用いて、炭酸ガスのみを集めます。この炭酸ガスを還元してグラファイトすれば、それを試料として加速器質量分析計で ^{14}C の量を正確に測定できます。春成と今村らは 11 点の試料それぞれについて、このような化学処理を行い加速器質量分析計で ^{14}C の量を測定しました。そしてその測定結果とこれまでに得られている考古学の研究成果に基づいて、総合的に検討したところ、「本格的な水田稲作が始った弥生時代の開始年代は、今までの定説よりも500年さかのぼった紀元前1000年ごろである」という結論を得ました。

（2） ラスコー洞窟壁画の年代を測定する[8)]

フランスの南西部にあるモンテイニヤック（Montignac）村の南方にラスコー(Lascaux)洞窟遺跡があります。この遺跡はモンテイニヤック村の十代の少年４人と犬一匹によって発見されました。1940年9月12日のことでした。４人の少年とは、Marcel Ravidat, Georges Agnel, Jacques Marsal, Simon Coencas で, 犬は Simon の飼い犬で名は Robot でした。彼らは村の南にある森に遊びに行きました。そして森の中にある Lascaux Hill と呼ばれている岡の頂上を目差して、探検家気取りで登っていきました。頂上付近で Robot が見えなくな

りました。洞窟に落ちてしまっていたのです。ロープもライトも持っていなかったので、その日は Robot を助け出すのは諦めて、次の日の朝必要なものを持って洞窟に行って助け出しました。その時に偶然大発見をしたわけです。間抜けな犬のお陰で大発見をしたわけです。

この洞窟はその後専門の研究者によって調査され、フランスで最も重要な洞窟遺跡であることが明らかになりました。洞窟の壁および天井には、約 200 点の画が描かれています。馬が一番多く、その他牛、鹿、猫、狼、熊、鳥などの動物、および人間などが、線描画、単色画、多色画として描かれていまして世界的にも有名です。その馬の絵の一例を図―2に示します。



図―2　ラスコー洞窟に描かれている馬の絵の一例

フランスの AMS 炭素年代測定グループの研究者達は壁画の年代測定を行ないました。古代の壁画は、顔料としてベンガラや木炭を使っています。ベンガラは酸化鉄（Ⅲ）（Fe_2O_3）を主成分とする赤色顔料のことで、天然には赤鉄鉱として産出しますので、古代から顔料として広く用いられてきました。木炭は木を焼くとできる炭ですから炭素を含んでいます。研究者達は壁画の一部から採取した木炭をサンプルにして、AMS 法によって ^{14}C を定量して年代測定をしました。そして壁画は約 12000 年前から 13000 年前に描かれたものという結論を得ました。

ラスコー洞窟遺跡は発見から８年後の 1948 年になって、一般に公開されました。素晴らしい壁画を見ようと毎年多くの見学者が訪れていましたが、1963 年には、壁画の状態が悪化したため、残念ながら一般公開は中止となりました。

（３）　科学捜査へ応用する[8)]

日本には外国からいろいろな物が輸入されてきます。その中には禁止されている物もまぎれ込んできますが、それを取り締まるのはなかなか難しいことです。輸入禁止の物か、

あるいは輸入して良い物かどうか決めるのに AMS 法が役立ったことがあります。成田空港の税関から名古屋大学に象牙試料２つの検査依頼がありました。象牙の輸入は、野生動物の保護のためのワシントン条約で禁止されています。ただし化石として発掘されるシベリアマンモスの牙は例外として許されています。名古屋大学の中村俊夫らは、象牙に含まれるコラーゲン（たんぱく質の１種ですので炭素を含んでいます）を抽出して、AMS 法によって ^{14}C を定量して年代測定をしました。その結果、象牙２つのうちの１つは、1955 年以降に生存していた象の牙であることが分かりました。輸入禁止の物でした。もう１つの象牙は、約 45000 年前のシベリアマンモスの牙であることが分かりました。それでこの象牙は輸入の許可が下りたとのことです。

（４） 人の皮膚による農薬の吸収・代謝を調べる[10]

除草剤の１つとしてアトラジン（２－クロルー４－エチルアミノー６－イソプロピルアミノーSートリアジン）という有機化合物が用いられています。この除草剤は光合成を阻害して雑草を枯死させるといわれています。トウモロコシはアトラジンを体内で不活性化する物質を持っています。それでアトラジンはトウモロコシ畑で除草剤として世界的に使用されています。その毒性は低いとのことですが、人にたいする影響はまだ分からないところが多いとされています。最近アトラジンの人の皮膚による吸収および代謝を調べるため、^{14}C で標識したアトラジンを用いた実験が行なわれました。健康な人の皮膚に ^{14}C で標識したアトラジンを 24 時間接触させて吸収させ、一定時間ごとに尿中に排出される ^{14}C の量を AMS 法で測定しました。その結果、人の皮膚によるアトラジンの吸収量および排出量は、動物実験からの予測される値よりも低い値であることが分かりました。この実験で人の受けた被曝量は、飛行機に数時間乗ったときに浴びる宇宙線による被曝量と同じくらいです。AMS 法によれば、人体に悪影響を与えない極微量の ^{14}C を用いて、人のかかわるここで紹介したような実験ができます。

（５） エレクトロニクス材料中の極微量金属不純物を測定する[11]

エレクトロニクス材料の性能は、極微量含まれている不純物に大いに影響されます。例えば、Si で作られている太陽電池は 1 ppb の金属不純物が含まれているだけで、効率が大きく下がります。コンピュータなどの記憶回路に使われる材料中に 1 ppb のウランやトリウムが含まれていると、それらの崩壊によって放出されるα線の影響でエラーを生じたりすることがあります。性能の優れたエレクトロニクス材料を手に入れるためには、クリーンルームで細心の注意を払い極微量の不純物も混入しないようにして作らねばなりません。またそのようにして出来上がったエレクトロニクス材料に本当に不純物が混入していないか、入っていても影響の無い程度かどうか、調べることが必要でしょう。ここで AMS 法が役立ちます。AMS 法は炭素だけではなく他の元素の同位体についても非常に感度が良いからです。例えば Si 試料に不純物として ppb 程度しか含まれていない Fe, Co, Ni, Cu などの同位体を測定することが出来ます。

参考文献

(1) Amos Frumkin, Aryeh Shimron, and Jeff Rosenbaum, "Radiometric dating of the Siloam Tunnel, Jerusalem", Nature, 425, 169-171(2003).
(2) Luis W. Alvarez and Robert Cornog,"He^3 in Helium", Phys. Rev., 56, 379(1939).
(3) Luis W. Alvarez and Robert Cornog, "Helium and Hydrogen of Mass 3", Phys. Rev., 56, 613(1939).
(4) Richard A. Muller, "Radioisotope Dating with a Cyclotron", Science, 196, 489(1977).
(5) C. L. Bennett, R. P. Beukens, M. R. Clover, H. E. Gove, R. B. Liebert, A.E. Litherland, K. H. Purser, and W. E. Sondheim, "Radiocarbon Dating Using Electrostatic Accelerators : Negative Ions Provide the Key", Science, 198, 508(1977).
(6) D. E. Nelson, R. G. Korteling, and W. R. Stott, "Carbon – 14 : Direct Detection at Natural Concentrations", Science, 198, 507(1977).
(7) 国立歴史民俗博物館、"歴史を探るサイエンス"、歴史民俗博物館振興会(2003).
(8) 今村峯雄、「年代をはかる」、日本規格協会(1991).
(9) 中村俊夫、"加速器質量分析（ＡＭＳ）による宇宙線生成放射性同位体の測定と若い地質年代測定への応用"、地質学論集、49, 121(1998).
(10) S. D. Gilman, S. J. Gee, B. D. Hammock, J. S. Vogel, K. Haack, B. A. Buchholz, S. Freeman. R. C. Wester, X. Y. Hui, and H. I. Maibach, Anal. Chem., 70, 3463(1998).
(11) F. D. McDaniel, J. M. Anthony, J. F. Kirchoff, D. K. Marble, Y. D. Kim, S. N. Renfrow, E. C. Grannan, E. R. Reznik, G. Vizkelethy, and S. Matteson,"Impurity Determination in Electronic Materials by Accelerator Mass Spectrometry", Nucl. Instr. Meth., B 89, 242(1994).

放射線教育 Radiation Education
Vol. 7, No. 1, p. 21−26 (2003)

エネルギー資源量ならびに人類のエネルギー消費量の予測
—地球史から考える—

大野新一，清水三郎
理論放射線研究所
(〒227-0054 横浜市青葉区しらとり台 12-5)
Tel: 045-981-8752　Fax: 045-981-7950　E-mail: ohno-trl@01.246.ne.jp
(2004 年 3 月 5 日　受理)

[要 約]
地球史から得られるエネルギー資源量の見積もり，すなわち地球がもつ地熱，原子核，化石エネルギーの量についての情報をまとめ，さらに将来の人類が消費するであろうエネルギー量の予測を行ない，これが地球史へどの程度に影響するかを検討した。その結果，人類は地球に残されているエネルギー資源量の枯渇を心配する必要は全くないこと，しかしながらエネルギー消費にともなう排熱量は本来の地球内部からの熱放出速度と同じ程度になり得るため，地球の表層環境に大きな影響を及ぼすであろうこと，またエネルギー消費を化石エネルギーに頼りすぎることは，温室効果気体の発生の問題と，同時に動物にとって必要な酸素気体の消失の問題が発生することなどが判った。学校教育においては，情報の収集にとどまることなく，考え方の学習の重要性が指摘されるが，本報告で取り上げた内容はその一例を提供するものと考えられる。これからの科学技術と人類の未来を考えるために，自然の歴史から学ぶ手法に注目した。

1.　はじめに

われわれ市民にもたらされる情報のなかには，石油はあと 40 年で枯渇する，核燃料増殖のない軽水炉による核エネルギー利用体系ではウラン資源も枯渇する，などの不安情報が多い。本研究では，地球の形成・進化の歴史から得られる知見に基づいて，地球がもつエネルギー資源（化石燃料，核燃料，熱資源，太陽エネルギー）を考察し，さらにこれからの人類が消費するであろうエネルギー資源量を予測し，その結果が地球史に与える影響を考察する。これからの科学技術研究のあり方として，いわゆる要素還元型からの脱却の必要性が広く唱えられているが，その具体的な手法はまだ模索の段階にある。例えばシステム論および歴史から学ぶ手法などが提案されている[1]。われわれは自然の歴史から学ぶ手法に注目し，今回とくに地球がもつ地熱，原子核，化石エネルギーの量について地球史から得られる情報と人類の使用予測量，その地球史への影響についての検討結果を報告する。

また，この研究手法はそのまま地球のエネルギー資源と人類のエネルギー消費の問題を学校の授業に取り入れるさいに参考になるものと考えられる。図鑑・雑誌・インターネットなどを利用して情報を得るだけでなく，学校授業では，考え方・推論の仕方を学び，あるいは教えることが重要であると考えられるからである。

2．地球がもつ熱エネルギー

現在の地球がもつ熱エネルギーを求めてみる。まず地球形成以来，地球が獲得してきたエネルギーと失ったエネルギーを地球物理学の研究成果から調べてみる[(2)]。

(1)地球形成期に解放された重力エネルギー（2.8×10^{32} J）
(2)放射性元素の崩壊のさいに発生した放射線エネルギー(〜1×10^{31} J)
(3)重力的収縮に伴い発生するエネルギー(〜1×10^{31} J)
(4)コア物質の相変化・化学反応によるエネルギー放出(〜1×10^{31} J)

(1)から(4)のいずれの発生エネルギーについても，地球はその形成期に多くを獲得し，以後は次第に減少してきている。それらのうちのある部分(10%程度という見積もりがある)は地球内部に蓄積され，不連続的な熱伝導（マントル対流を含む）を経て地表面から輻射の形で宇宙空間に棄てられてきた(現在の地球表面からの熱放出速度は〜0.1 W/m^2)。仮にこのままの速度で４０億年間熱放出が続いてきたとすれば，放出量は 0.1 J/s･m$^2\times3\times10^7$(s/y)$\times46\times10^9$(y)$\times5\times10^{14}$ m$^2=7\times10^{30}$ J である。太陽からの放射エネルギーは地球表面に 1.4×10^3 W/m^2 ものエネルギーを入射するが，同量が宇宙空間に向かって熱放射されるので地球に蓄積されるわけではない（これは地球をつくる岩石の熱伝導率が低いことによる)。

別の見積もりとしては，地球を構成するコアおよびマントルの温度と質量についての情報を利用する方法が考えられる。コア(2×10^{24} kg，4000 K)が(2×10^{24} kg/0.056 kg)$\times6\times10^{23}$ 個$=2\times10^{49}$ 個の鉄イオンと電子から構成されるとすればその熱エネルギーは $2\times(3/2)k_BT\times2\times10^{49}=1.4\times10^{-23}\times4000\times3\times2\times10^{49}=3.4\times10^{30}$ J，またマントル(4×10^{24} kg，2000 K)が $Fe_2O_3+SiO_2$ から構成されるとすれば同様にして熱エネルギーの概略は 3.6×10^{27} J となる。この見積もりで用いたコアおよびマントルの温度はそれぞれ地球表面に近い部分の値を用いたので，これらの値は過小評価値を与えるものである。

3．地球大気に含まれる二酸化炭素濃度の推移―太陽エネルギーの入射量と地球生命物質の量

地球形成期の脱ガスによって CO_2，H_2O，N_2 などの大気がつくられたが，その後地球が冷却するにともない水蒸気は凝縮して海を形成したので，40 億年前の地球はおよそ 180 気圧の二酸化炭素で覆われていたとされる。以後，降雨と川による侵食作用で大陸から海に流入する金属イオンにともなって炭酸塩として沈殿することにより大気中の二酸化炭素は減少しつづけ，現在の大気中濃度はおよそ 0.03%にまで減少した。減少の途中で，いまからおよそ 27 億年前頃より，光合成反応が盛んになる：

$$CO_2 + H_2O + \text{光} \rightarrow CH_2O\ (\text{有機分子}) + O_2\ (\text{酸素})$$

ここで生成する O_2 はまずは海水中の鉄イオン(Fe^{2+})を酸化して鉄鉱床(Fe_2O_3)をつくることに費やされる。鉄イオンの反応が終わって以後は，発生する酸素は大気中に酸素が蓄積されるようになる。CH_2O(有機分子)は生物（植物）体をつくるが，その一方では酸素と反応して再び CO_2 と H_2O に戻る。ところが生物の死体が堆積し，

表 1 太陽系の主な元素の存在量（Si ＝ 10^6）

(Anders and Crevesse, 1989)　揮発性（木星型惑星に集まる）元素を左側に不揮発性（地球型惑星に集まる）元素を右側に示す。ただし酸素の一部（カッコで示す）は右欄の金属と結合して地球型惑星の成分として残った。ほかに地球型惑星を作った岩石にはわずかながら水，メタン，アンモニアなどが含まれていた。

H	2.79×10^{10}	Mg	1.07×10^{6}
He	2.72×10^{9}	Si	1.00×10^{6}
O	2.38×10^{7}	Fe	9×10^{5}
	(-3.8×10^{6}) →	Ni	4.9×10^{4}
C	1.01×10^{7}	Al	8.49×10^{4}
Ne	3.44×10^{6}	Ca	6.11×10^{4}
N	3.13×10^{6}	K	3770
Ar	1.01×10^{5}	Th	0.0335
Xe	4.7	U	0.009

それが地球内部に入り込むと，それに相当する量の酸素が大気に残ることになる。そこで生物がこれまでに CO_2 を吸収して光合成した炭素のモル数は鉄鉱床中の鉄および大気中の酸素モル数の和に等しいと考えることができる。表 1 からもわかるように，地球には鉄とマグネシウムはほぼ同じ量が含まれている。またとくに地殻表面の元素組成として知られるクラーク数を調べても，ケイ素を 1 として鉄は 0.092，マグネシウムは 0.086 でほぼ同じである。水に対する溶解度[7]（たとえば 20℃において塩化鉄（II）38.5 と塩化マグネシウム 35.3 であまり差がない。しかし現在の海水(1.4×10^{21} kg)中ではマグネシウム濃度(1.3 g/kg 海水)に対して鉄イオンは微量である。このことは最初マグネシウムと同濃度の鉄（Fe^{2+}イオン）が海水に流入し，それが酸素によって酸化鉄として沈殿したものと考えられる。ここで消費された酸素モル数は $1.3\times1.4\times10^{21}/56$ である。また大気質量 5×10^{18} kg の 20%が酸素であるからそのモル数は $10^{18}/0.032=3\times10^{19}$ である。そこで地球内部に埋蔵されている有機物すなわち化石燃料は 6×10^{19} モル（$=0.2\times10^{19}$ kg）ということができる。あるいはエネルギー源としてみれば，およそ 100 kJ/モルの発熱量なので 6×10^{24} J である。

4．地球形成プロセスから見積もるウランおよびトリウムの資源量[3]

太陽系をつくった素材物質の元素組成は太陽フレアの発光スペクトルや隕石の化学分析によって知られている[2]。表 1 を参照のこと。これらの元素から揮発性元素を除いた残りの金属と岩石成分をつくる元素が地球をつくった。地球の質量 6×10^{24} kg に対して，Fe と O が 32%ずつ，Mg と Si が 15%ずつであり，U は 1.13×10^{-6} %（$=6.78\times10^{16}$ kg），トリウムは 2.4×10^{17} kg である。U のうちの 0.7%が U235 であり，1 個あたり 200 MeV($=3.3\times10^{-11}$ J)のエネルギー資源とみなすことができる。同様に Th232 も中性子との付加反応により Th233 とすることができれば U235 と同じようにエネルギー資源となり得る。そこで地球に含まれる原子力エネルギー資源量は

ウラン 238：$1.7\times10^{41}\times3.3\times10^{-11}\,J=5.5\times10^{30}\,J$

ウラン 235：$5.5\times10^{30}\,J\times0.7\%=4\times10^{28}\,J$

トリウム 232：$2\times10^{31}\,J$

である。また核融合炉が実用化すればさらに大幅にエネルギー資源量は増大する。

5．太陽エネルギー

太陽から地球に降り注ぐ光エネルギー量 1.4 kW/m^2 はよく知られている。地殻が熱絶縁物質でできているため，このエネルギーは反射により，あるいは地球表面物質に吸収された後に熱輻射により再び宇宙空間に放射される。放射されるまでのある期間，一部は生物に利用され，さらには海水の蒸発，海流の運動，大気の運動（したがって風力）などに使われているが，これをエネルギー資源として人類が利用することはすでに始まっている。

6．人類が消費するエネルギー資源

生物としての一人の人間のエネルギー消費量は 2000 kcal/日=8000 kJ/日である。現代の日本・米国における一人あたりのエネルギー消費はこのおよそ 100 倍である。そして地球人口は 100 億人になるもの（現在は 60 億人）とすると，エネルギー消費量は $8\times10^{8}\times10^{10}$ J/日と予想される。この消費速度が 1000 年間続くとすれば，3×10^{24} J が人類のエネルギー消費量であるとみることができよう。ただし，この値は人口 100 億人，エネルギー消費が現在のアメリカなみ，現代文明の持続が 1000 年という過大見積りであることに注意してほしい。

表 2　地球がもつエネルギー資源量と人類の消費見込み量

地熱エネルギー	$\sim10^{30}$ J
化石エネルギー	6×10^{24} J
太陽エネルギー	7×10^{30} J
(今後 1000 年間の総量)	
核エネルギー（核分裂）	$\sim10^{31}$ J
人類の消費エネルギー	$\sim3\times10^{24}$ J
(今後 1000 年間の総量)	
地球からの熱流出量	$\sim0.1\ W/m^2$

7．人類のエネルギー消費が地球史にあたえる影響について

表 2 に，これまでの見積もりで得られた地球がもつエネルギー資源量をまとめた。同時に人類が消費すると考えられるエネルギー量も比較のためにのせてある。ここから将来

の人類のエネルギー消費量は，地球のもつエネルギー資源量の総量に比べれば，無視していいほどであることがわかる。もちろんエネルギーの採取の難易は別問題であるが，それは将来の技術開発によって解決できるものと期待される。その解決に至るまでの期間は，各国ごとの特殊事情，経済競争などの問題が複雑にかかわるが，そのことは今回の検討の対象ではない。あくまでも将来の人類が利用可能な地球がもつエネルギー資源量についての考察である。

では人類のエネルギー消費によって地球はどのような影響を受けるであろうか。以下に，資源量ならびに消費によって発生する廃棄物質について各項目ごとに考察しよう[5]。

（1） 地球のエネルギー資源：地球のもつエネルギー資源量～10^{31} J に比べれば，人類の消費予想量 3×10^{24} J は無視してよいほどに小さい(表 2)。

（2） 熱放出量：1 日あたりの人類のエネルギー消費量は $8\times10^{6}\times100$ (J/人)×10^{10}(人)=8×10^{18} J/日であるが，これを地球表面積で割ると 1.6×10^{4} J/日·m^2，あるいは 0.2 W/m^2 となる。すなわち地球内部からの熱放出量～0.1 W/m^2 に対して 2 倍の熱放出であり，地球表面における熱汚染による甚大な影響が予想される。

（3） 化石エネルギー：人類がエネルギー資源としてもしも化石エネルギーのみに頼るとしたならば，地球のもつ化石エネルギー資源の半分を使うことになり，影響を無視することはできないであろう。

（4） 二酸化炭素と水：化石エネルギーの使用にさいしては廃棄物として水と二酸化炭素が発生する。いずれも温暖化ガスとして知られるが，現在の地球表面温度から考えて水は凝縮するので影響が残らない。二酸化炭素が大気中に残り，いま関心が持たれている温室効果をもたらす。同時に同量の酸素が大気から消失することにも注目する必要がある。もちろん二酸化炭素の増加が光合成を促進し，酸素増加の効果を考察する必要がある。

（5） 放射性廃棄物：核エネルギー（ウラン 235 の核分裂）を使用すると放射性廃棄物が残ることが一般的に指摘されているが，実はもともと地殻に含まれていたウラン 235（半減期 7 億年）とウラン 238（半減期 45 億年）が原子炉内での反応によって，消失するウラン 235 数のほぼ 1.5 倍数の放射性元素（半減期が数年から 200 万年）とほぼ 0.3 倍数のプルトニウム（半減期 2 万年）に変化するとみることができる。この反応を 100 万 kW · 1000 基の原子力発電 · 1000 年の稼動によって行なうとして、地殻(3×10^{22} kg)における放射能の変化を表 3 にまとめた[4]。

表 3 人類の核エネルギー利用による地殻中の放射能変化[4]

放射能の消失	放射能の生成
U-235 3.9×10^{8} kg (半減期: 7.5 億年)	Pu 2×10^{8} kg (半減期: 2 万年)
U-238 3.9×10^{8} kg (半減期: 45 億年)	MA＋核分裂片 6×10^{8} kg (半減期: 数～200 万年)

MA（Minor actinides: 原子炉運転により U-238 の中性子吸収反応により生成するネプツニウム，アメリシウム，キュリウムなどの微量元素）

地殻には元来 U-235，U-238，Th-232，K-40 などがほぼ均一に分布しており，これによる地球表面でのわれわれが受ける年間被ばく線量は 0.6 mSv である。今回の考察から，原子炉の稼動とは地殻に存在するウランのごく一部（約１億分の 1）を核変換して短寿命核種にするものといえる。放射性廃棄物は地球環境に対してはほとんど影響しないといえるが，むしろ特定の箇所に集中させることによって周辺生物にリスクを増大させるかも知れない。

８．まとめ

人類はエネルギー資源量の枯渇を心配する必要は全くないが，エネルギー消費にともなう排熱量は本来の地球内部からの熱放出量と同じ程度になるため，地球環境に大きな影響を及ぼすであろう。この結論は，それ自体もすでに重要な知見であるとわれわれは考えているが，より重要でかつ緊急を要することと考えているのは学校教育への適用である。学校では，教師も生徒も，図鑑・雑誌・インターネットなどを利用して，エネルギー資源量の問題や人類の消費にともなう環境への影響に関わる情報を容易に得ることができる。しかし知識やデータを収集して並べ，そこから結論を導くことだけでは必ずしも好ましい授業ではない。学校は，考え方・推論の仕方を教えるところでもある。生徒はまず「地学」と「生物」の教科書を中心に太陽系と地球の形成ならびに生物進化について学習し，地球の歴史からエネルギー資源，すなわち地球がもつ地熱，原子核，化石エネルギーの量について見積もる方法を学ぶことができる。さらに将来の人類が消費するであろうエネルギー量の予測をいくつかの方法で試みることもできる。本報でとりあげた見積りは一例に過ぎないもので，かならずしも正確さを意図したものではない。つぎにこのエネルギー消費が地球環境にどの程度に影響するかを検討する。与えられた知識を受け容れようとするだけでなく，生徒同士の討論と教師からのヒントを得ながら，エネルギーと環境問題に対する考え方を学び，それをもとに専門家や知識人に質問しつつ学ぶ方法を推奨したい。具体的なカリキュラムづくりの例としては別に報告する予定である[6]。

参考文献

(１) 松井孝典：宇宙人としての生き方，岩波新書 839 (2003)

(２) 松井孝典ら：地球惑星科学入門（岩波講座 地球惑星科学 Ⅰ），岩波書店 (1996)

(３) 大野，八木，新井：放射線教育, **5**, 41 (2001)

(４) 大野，八木，新井：原子力学会秋の大会(静岡大学)，講演要旨集 p.2 (2003)

(５) 大野，武田，清水：第２回２１世紀連合シンポジウム―化学技術と人間―論文集，ISSN 1347-9717，p.353 (2003).

(６) 大野，清水：第３回放射線教育に関する国際会議，長崎８月(2004)，発表予定.

(７) 国立天文台編：理科年表，丸善 (2003).

放射線教育 Radiation Education
Vol. 7, No. 1, p. 27−34 (2003)

これからの理科教育と放射線(1)

量子論・相対論の導入とそのための放射線の活用

大野新一
理論放射線研究所
〒227−0054 横浜市青葉区しらとり台 12−5
(2004 年 3 月 5 日 受理)

[要旨] 20 世紀に見出された人類の知的遺産は一般市民にあまねく共有されるべきである。このような知的遺産の例として量子論および相対論を挙げることができる。本稿では，量子論と相対論を高校（大学初年級）理科教育で取り上げるさいに放射線を説明手法として活用できることを考察する。放射線は，高速の微細粒子もしくは周波数の大きい電磁波であり，その性質から考えて量子論および相対論に深く関わる。量子論および相対論の理解のために使われる黒体輻射，光電効果，光速度測定などの従来からの手法に代わって，放射線の実験的および解説的な手法の有効性を指摘する。

１．はじめに

量子論，相対論，物質をつくる基本粒子，化学結合と電子構造，宇宙の構造と進化，暗黒物質，生命の起原と生物進化のしくみ，地球の歴史と環境変化などは一般市民，とりわけ青少年の関心を惹くものであり，しばしば新聞の文化欄や雑誌などでも紹介される。しかしながらこれら科学上の発見の多くは 20 世紀においてなされたものであり，主として 19 世紀において得られた成果に基づいた現行の学校教育（中高校および大学初級課程）で取り上げられることはほとんどない。そのため人類の知的財産である多くのものが一般市民に共有されることのない状況にある。

現行の教科書を注意深く調べるとき，教科書のなかに上述の 20 世紀の発見を解説しようとする兆しを少なからず感じ取ることができる。その例を高校理科の教科書に求めてみよう。物理 IB（原子と原子核）で光電効果を説明するときの光の粒子性，定常波で説明する水素原子内電子の運動（三省堂版），物理 II(原子・原子核と素粒子)におけるアインシュタインのエネルギーと質量の等価性の説明(三省堂版)，化学における同位元素とその利用，年代測定の原理，地学における地球と生命の歴史（NHK 高校講座「地学」）を挙げることができる。明瞭に量子論の必要性を訴えていると思われる教科書の例を挙げると物理 II（数研出版）がそれであり，その第 3 篇原子のなかで I. 波動性と粒子性（１．光の粒子性，２．X 線の波動性と粒子性，3.電子の波動性）II. 原子と原子核（１．水素原子の構造，２．核エネルギー，３．素粒子）III. 研究活動（１．はく検電器による光電効果の観察，２．プランク定数ｈの測定）などの節立てからも目標に向かう執筆者の意図が伺える。多くの事項をつぎつぎと羅列して説明する他の多くの教科書(例：第一学習社版，その他)との際立った存在が注目される。

他方，現行の高校化学のほとんどの教科書において著しく改善が望まれることがある。

原子と原子が結合してできる分子とその結合の組み合わせが変化することである化学反応は，化学における中心的な役割を担う重要なものである。これが高校化学ではまともに取り上げられているとは到底考えられない。歴史的に見ても，化学結合は，あるときには原子に固有の（仮想的な）結合の手の数によって，また電子対の考えを用いて，あるときには周期表の知見と合わせた結合飽和（オクテット説など）の概念によって，さらに近年は原子模型によって説明されているが，もちろん満足のできるものではあり得ない。生徒に対しては混乱を与えるか，さもなければ暗記を強制するものであろう。さらに物理の授業に出席する生徒はボーア模型を教え込まれ，物理と化学は違うものと悟らされる。この原因は共有結合にあずかる電子の安定な運動を説明する量子論の導入がないことによることは明かである。さらに何の説明もないままに使われるアインシュタインのエネルギー・質量関係も有名な式ということ以外に読者に何の興味も与えない。

本稿では，原子や分子の安定性を理解し，これによってギリシャ時代から続く人類の原子に対する考え方の歴史に親しみ，そのうえで原子内部の構造の研究に関心が移行するように配慮した量子論の導入を提案する。さらに量子論導入にさいして，従来からの光電効果，コンプトン効果，ドブロイの物質波などを用いる方法に対して，放射線の特異な性質を利用して理解を助ける方法を提案する。

2．原子・分子の安定性を説明するための量子論の必要性

室温付近での水分子の走る平均速度は約 600 m/秒であるが，この程度の速さで水分子が互いに衝突しあっても水分子自体は壊れないことに注目してほしい。水分子は，2 個の陽子と 1 個の酸素原子核，それに 10 個の電子の集合であるが，これら 13 個の粒子は相互に働く静電力のもとで定常的な運動状態にある。このうち電子の運動によって一定の大きさの折れ曲がった水分子（H-O-H）の構造が保たれる。H と O の 2 つの原子核の領域にまたがって電子が存在することが化学結合の状態である。ここで化学結合にあずかる電子が急に消失するとしたら 2 つの原子核同士は離れ離れになってしまう。そうでない限りいくつもの電子がはげしく振動・回転しているにもかかわらず，電磁波を放出することもなく，真空中に置かれた水分子はいつまでも安定である。また相互に衝突しあっても，室温に比べて 1 桁(10 倍)大きい衝突エネルギーでない限り，こわれることもなく，安定である。このような原子や分子の安定性は電子が波のような性質でもって運動すること，そして原子核によって狭い空間に閉じ込められることから定常波（定在波）を形成することとして理解できる。分子は，複数個の原子核のクーロン力によって捉えられた電子が定常波を形成（分子軌道形成による共有結合）して安定性を保つが，この電子が接近してくる他の原子核の方に移動（ジャンプ）することが化学反応である。放射線はこの電子を弾き飛ばすことから化学反応を開始することができる。現在の高校物理(大学初級課程)では，ボーアの水素原子模型を用いて円運動する電子軌道の半径は 0.53 nm，速度は約 10^6 m/s，回転周波数は 10^{16} Hz などを学習するが，安定さには触れることはない。これでは片手落ちというほかない。

原子は，堅くて小さく決して壊れることはない，永久不変のものであるとしてギリシャ時代から考えられ，ニュートンの時代，またドルトンの時代に引き継がれ，19 世紀の化学反応の定量的研究によって確実視されていた。その原子のなかを素通りする放射線，そ

のために原子のなかの構造を調べるのに利用することができる放射線，また化学反応を起こすのに利用することのできる放射線を人類は 100 年ほど前に手にするのである。

3．微細な粒子の性質（量子論の原理）

微細な粒子の運動は，Newton 力学ではなく，量子力学に従う。粒子が小さいか大きいかは，粒子の運動がそれを観測することによって影響を受けるか受けないかによる。微細な粒子は，他の粒子と相互作用しないでひとりで運動している間は高校物理の光・音の波の章で学習する（われわれが日常知る）波動として振る舞うが，他の粒子と相互作用(エネルギーをやり取り)するときは高校物理の力学の章で学ぶ（われわれが知る）粒子のように振舞う。原子核に束縛された電子の場合のように狭い空間に閉じ込められた波動は，いくつもの定まった形の定常波としてのみ存在する。ひとつの定常波から別の定常波への移り変わり(遷移)は，電磁波の吸収・放出を伴って起こり得る。入射してくる放射線(たとえば高速電子)と相互作用するときは粒子と粒子の衝突である。束縛エネルギーを超えるエネルギーを衝突によってうけとると，その電子は原子から飛び出す(イオン化)。高速電子が結晶格子を通過するときも，エネルギーのやり取りがないならば，波が同時に多数の物体からの散乱を受けるのと同じように，干渉効果があらわれる。しかし最終的に検出器に達するときは，そこでエネルギーを渡すので検出器の中のどこか一点であり，粒子としての性格が現れる。

さらに補足的な２，３の説明を続けよう。図１は，１次元の空間に閉じ込められている定常波の例を示す。原子内における電子の定常波は 3 次元でしかも中心に束縛された定常波であり，その形によって s 軌道，p 軌道，d 軌道などと区別して呼ばれる。分子の場合は中心が原子数の応じて２，３，４，など複数個ある。しかし図 1 では，概念の理解のために１次元，しかも横波で表現してある。

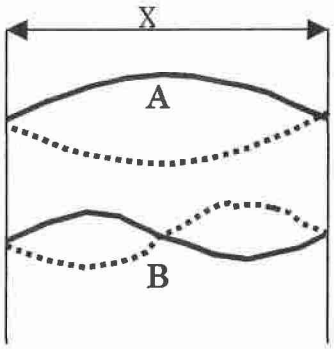


図１　簡単な(1 次元の)定常波
上から基本波 A，その倍波 B，それ以上の定常波は省略。1 次元ではあるが振幅を横波のように示してある。

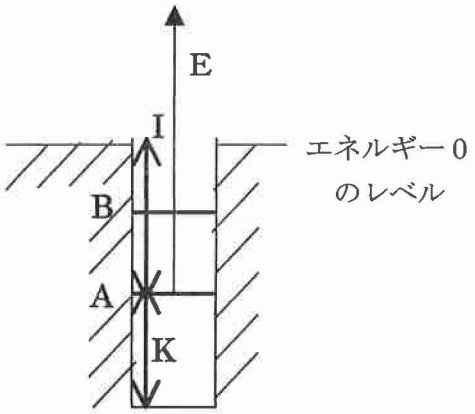


図２　１次元の定常波のエネルギー
A のエネルギーと B のエネルギーレベルを示す。箱の中の A の電子の運動エネルギーは K,イオン化エネルギーは I である。放射線からエネルギー E をうけとると，E−I の運動エネルギーの電子が放出される（＝光電効果)。

さらに図 1 で表される電子の運動量と存在の位置について分かることがある。この波

の形がx軸上で無限に繰り返して続けば一定の波長，したがって一定の周波数の波ということができ，したがって一定の運動量をもつ状態にある。しかしこの場合の波は両端が固定された定常波で半波長分しかなく，運動量の範囲は右向きの h/波長と左向きの h/波長から多数の周波数の波が混在していると考えられる。そこで運動量の範囲はΔ(運動量)<(2h/波長)といえる。また電子の存在位置も L の範囲にあるので，結局Δ(運動量)$\cdot\Delta x=h$を得る。これが量子論でもうひとつ大切な不確定性原理である。運動量pが一定（したがってエネルギーが一定)のx軸の正方向に走る粒子については、運動量の不確定はない（$\Delta p_x = 0$）が、xの位置は不確定である($\Delta x = \infty$)。また原子内電子のように存在範囲が限定される($\Delta x = 10^{-10}$ m)と$\Delta p_x = h/(10^{-10}$ m)はある範囲の値をとり、静止できないことがわかる。これが図2の定常状態における運動エネルギーKが存在する説明である。

トンネル効果についても話題とすべきであるが，紙数の関係でここでは省略する。

4．放射線の特異性

放射線は通常の物質をつくる微細な粒子（電子，陽子，中性子など）が集合されずに高速で空間を走っている状態である。微細であることから量子論に直接に関係し，しかも適当な検出器によって観測でき，さらにその挙動が具体的に把握できることから理解し易いことが多いことに注目したい。

放射線は，「原子・分子のなかを素通りし，その際まれではあるが原子・分子内の電子を弾き飛ばすもの」である。これを原子・分子の集合体である巨視的物体に当てはめて言いなおすと，放射線は，「物体の姿・形を崩すことなく，物体を透過し，そのさいに物体の内部に少しずつ化学変化を起こすもの」である。このような "もの" を具体的にしめしておくと，

① 高い周波数（$>10^{16}$ Hz）の電磁波
② 高速($>10^{6}$ m/s)の荷電粒子（ただし大きさは原子よりずっと小さい）
③ 中性子

物質構造の立場からみると，放射線は物体内部の様子をしらべる，とりわけ原子・分子の内部構造，ならびに原子・分子の配列状態をしらべるのに有力な手段を提供する。また物質変化の立場からみると，放射線は温度や相に関わりなく遠く離れたところに存在する物質に対して化学反応を起こすことができる。

5．従来の教科書にみる量子論関連の説明

高校物理，大学初年級にあらわれる量子論の導入では，黒体輻射，比熱の温度依存性，原子・分子における線スペクトル，光電効果などが使われる。これは量子論の歴史的展開を重視するからであろうが，日常経験することの容易でない事象を例に使って短時間の授業で説明することは困難である。以下では，小田稔他著の「物理 II」（数研出版）を例としながらまず現状の調査から始める。

さまざまな仕事関数の値をもつ金属板を用いて光電効果の実験を行ない，限界波長の測定からプランク定数を求める方法をやや詳しく解説している。また X 線のところでは，連続 X 線と固有 X 線の 2 種類について説明はされているものの，その発生の機構の違いについて説明はされていない。これは原子内の電子の定常状態についての記述がないため

固有 X 線の説明ができないこと，それにともない原子核の電場による電子の制動による X 線についての説明もできないためと考えられる。つぎに結晶による X 線の回折から X 線の波動性を，そしてコンプトン効果から X 線の粒子性の説明に及んでいる。いずれも数式を用いたかなり詳しい記述があるが，X 線がどのようなときに波動性を示し，どのようなときに粒子性を示すかの説明がない，すなわち量子論の基礎の話がないために，生徒にとっては，用語と数式をたどることはできても本質的なことは理解できないと思われる。つづいて水素原子の構造では，正電荷をもつ原子核と負電荷をもつ電子の集合であることから始まり、静電ポテンシャル（水素原子のボーア模型）の中で運動する電子の速度（～10^6 m/s）や原子核を回る周波数（～10^{16} s^{-1}）の計算までを取り扱う。原子の大きさ(10^{-10} m)はもちろん、原子核や電子の質量と大きさ(10^{-15} m)についても簡単に扱う。しかし何故このような系が安定に存在し得るのかの説明を欠いている。いうまでもなく原子や分子の安定性は量子論によってはじめて理解されるものである。

6．放射線の発見と物質構造の研究への利用

放射線の発見に至った真空放電の実験は，真空ポンプと電気の技術(電池の発明：1800)を組み合わせたもので，（1）陰極から出る荷電粒子の電荷/質量の比が陰極材料や管内気体の種類によらずに一定であることから物質の普遍的な構成粒子としての電子の発見と（2）高速電子（陰極線）が放電管壁中の原子核の電荷で曲げられるときに発生する電磁波（X 線）の発見をもたらした。X 線発生の機構を調べようとした放射能の発見，その研究から新元素の発見，放射線の性質と検出方法，さらに結晶格子による X 線の干渉効果とそれを利用する原子間距離を求める方法が発見された。

原子中を走るα線の飛跡を解析することから，原子の構成要素としての正電荷をもつ原子核の存在だけでなく，原子番号 Z の原子核が Z 個の単位の電荷を有することも明らかとなってきた。また高エネルギーの電子衝撃を受けた原子から放出される X 線(固有 X 線)の波長と原子番号 Z との間の関係も明らかになり，原子中の電子の運動状態が理解できる準備がととのった。

こうして微細な高速の粒子(=放射線)と原子・分子との相互作用に関する知見が得られるにつれて，その記述にふさわしい新しい力学理論，すなわち量子論が必要となった。

原子番号Zの原子核がもつ電荷（Rutherford や Moseley の方法）と質量（Thomson 及び Aston らの質量分析器の方法）を比較すると，原子核には陽子と同じ質量で中性の粒子が存在することが予想される。これを確認したのが Chadwick の中性子の発見(1932)である。 そしてつぎの課題は，原子核の構成要素である陽子と中性子を結びつけている力である。それは，相対論と量子論に基づいて展開された湯川の中間子（パイオン）予言（1934)と それから始まる素粒子物理の展開を促した。 他方，中性子はそれまでのα線に代わる原子核反応の研究 (Fermi) を盛んにし，核分裂の発見（1939)とともに超ウラン元素合成への関心を引き起こした。また相対性理論と矛盾しない量子力学の研究からは反粒子の存在が予言され (Dirac:1928)，陽電子の発見（1932) がなされた。

原子から原子核へ，そしてさらに核子へと物質構造の研究がすすむが，ここで用いられる研究手段の原理は Rutherford が行ったα線散乱の方法である。天然のα線のエネルギーは数 MeV であるが，重い原子核の内部に，さらに核子の内部に侵入できるために必要

なエネルギー（荷電粒子のスピード）ははるかに大きい。こうして 1930 年代以後はもっぱら人工的に荷電粒子を加速する方法が採用されている。加速エネルギーの大きさはますます大きく，それから得られる高エネルギー現象は物質構造の究極理論とともに宇宙創成論の問題を解明するのに不可欠の道具となっている。

7．放射線を使った量子論の導入はどのようにして可能か

（1）ガンマ線，ベータ線，アルファ線の物質透過性が大きく異なることを実験的に示すことは容易であるが，現在の放射線教育では，その異なる理由を教えない。しかしこれは原子（物質）の構成粒子と構造を考える教材となるはずのものである。

（2）わずかに数 J/kg（＝Gy）のエネルギーを受けとった物質が化学変化を起こすことは，物質（分子内の電子軌道の）安定性を説明する好い機会である。安定な結果，放射線が通過した分子内で電子は少量のエネルギーをいっさい授受できず，頻度はごくまれであっても，ある一定値（たとえば 10 eV）以上のエネルギーを受け取った電子が飛び出して化学結合が切れる。従来の放射線教育では Sv 単位であらわした数値とそれを生体がうけたときの影響を羅列してみせるだけでもったいない。

（3）光照射した金属面からの電子放出（光電効果）の説明に対して，X 線を用いた簡単な気体分子の光電子分光（図 2 で，電子の運動エネルギーE－I を測定する）は分子内電子の量子化を如実に示すものである。その装置も広く大学・研究機関で分析機器として普及している。金属面の電子放出よりも具体的な描像をつかみ易く教材に適している。

（4）結晶によるX線回折は原子の大きさを知るためにも，またX線が波の性質をもつことを示すためにも重要である。実は 1 個の光子が入射して結晶中の多数の原子の散乱を同時に受ける波の性質を教え，また理解することが大切である。

（5）不確定性原理を用いて原子内に束縛された電子の運動エネルギー，イオン化エネルギー（結合エネルギー）を導く。ボーア模型は参考程度にする。

（6）化学結合，とくに共有結合を分子軌道（電子の多中心定常波）を用いて説明する。この電子が放射線により分子内から外に飛ばされたときには原子核間のクーロン斥力によって原子は自動的に解離して化学結合がこわれる。そして新しく化学反応が始まり，また放射線の生物作用が始まる。

放射線作用を譬えを使って説明することも必要かもしれない。原子･分子の大きさ 0.1 nm を仮に 1 兆倍すれば 100 m (いうならば東京ドーム)の大きさである。陽子，中性子，電子（10^{-15} m）はおよそ 1 mm (ごま粒)の大きさとなる。さらに電子は毎秒 10^{16}－10^{17} 回も原子核の周りを回り，定常波をつくる（量子化）ことにより空間的な形が安定する。この電子が何かの原因によって 10－30 eV の運動エネルギーを受け取ると，初めてここ(ドーム)から抜け出すことができる(＝電離)。高速の荷電粒子 (やはりごま粒の大きさであるがドーム内のごま粒の速度よりも 1 桁から 2 桁大きい速度) が通過してもほとんどの場合で素通りするだけであるが，ごくまれにどれかの電子(ごま粒)に接近して通過するときに（たとえば 1 m 以内のニアミス）瞬間的に作用するクーロン力によって 10－30 eV のエネルギー移行が生じる。そしてこの分子は電離され，多くの場合で分子は壊れる。これは高校物理の力学の応用問題として確かめることができる。

放射線照射効果はグレイ Gy(＝1 Gy/kg)という単位で議論されることが多い。1 kg の水はおよそ 3 x 10^{25} 個の水分子を含む。放射線はほとんどの水分子をただ通り抜け、まれに電子(ごま粒)にニアミスして平均 20 eV を与えるとしよう。ニアミス回数が 3×10^{17} で 1 J のエネルギーになる。

$$20\ \mathrm{eV}\times3\times10^{17}=6\times10^{18}\ \mathrm{eV}=(1/1.6\times10^{-19})\ \mathrm{eV}=1\ \mathrm{J}$$

ここで 1 J/kg というのは，たとえば 1 リットルの水の中央部に 1 ワットの豆電球を置き 1 秒間だけ通電するときの状況である。このエネルギーで水温は 0.00025 度だけ上昇するが，感知できる効果はもちろん期待できない。

$$1\ \mathrm{J/kg}\ =(1/4.2)\ \mathrm{cal/kg}\ =\ 0.00025\ \mathrm{cal/g}\ 水$$

放射線からうけとるエネルギーというだけでは理解できないが，水分子中の電子が量子化されていることから 20 eV を受け取る電子が存在することが理解できる。しかもその個数を見積もることもでき，こうしてはじめて放射線作用を正しく理解できるのである。

8．相対論について

Maxwell 理論による真空中の電磁波(光)の速度 c は座標の取り方に依存しない。Einstein (1905)は、これを物理法則の 1 つとみなし、そして力学法則を含むすべての物理法則が座標系によらない(相対性原理)ものと考え、これに基づいて時間・空間の概念を考え直した。

すなわち粒子の位置は 4 次元時空間におけるベクトル(x, y, z, ict)であらわされ，同様にして微小変位ベクトルは（dx, dy, dz, ic dt)であらわされる。ベクトルの大きさはそれぞれ $x^2+y^2+z^2-c^2t^2$，および $(dx)^2+(dy)^2+(dz)^2-c^2(dt)^2$ であり，どちらも座標変換に関して不変(同じ形で表現される)量である。いま特別の場合として、この座標系に対して等速度 V で走っている粒子とこの粒子に付随している座標(粒子に固有な時間 T を刻む)を考えよう。粒子の微小変位を dT で割り、それに粒子の質量 m をかけた 4 元ベクトル

$$(m\,dx/dT,\ m\,dy/dT,\ m\,dz/dT,\ imc\,dt/dT)$$

を考える。この 4 元ベクトルの大きさ(= $-m^2c^2$)はやはり座標変換不変である。この 4 元ベクトルの最初の 3 成分は粒子の固有運動量 P_s であると考えられるが、第 4 成分は粒子のエネルギーを c で除したものと考えられる。すると $P_s^2-(E/c)^2=-m^2c^2$，あるいは $c^2P_s^2+m^2c^2=E^2$ の関係が得られる。ここから光子 (m = 0) に対しては P(光)＝ E / c が、また静止した（$P_s=0$）粒子に対しては $E_0=mc^2$ の関係が得られる。

現在の教科書では，X 線の粒子性をコンプトン効果を用いて説明するものが多いが，X 線光子と静止電子の衝突の説明に光子の運動量を E(光子のエネルギー)/c として，さらに静止した電子のエネルギーを $E=mc^2$ として，運動量とエネルギーの保存則を使って説明する。相対論の準備がないままの生徒に理解されるとはとても考えられない。

9．放射線教育の現状に対するコメント

放射線・原子力関係のセミナーで，あるいは学校の総合的学習の時間向けということで放射線の説明・実験が提案されている。しかし中には安易な説明が使われており，放射線の基本的なことや考え方を教えないでただ知識を押し付けるという憂慮すべき状態になりかねない場合が多いように思われる。たとえばアルファ線は紙 1 枚で止まるがガンマ線

を止めるには厚い物体が必要だ，自然界の放射線は年間に数ミリシーベルト，飛行機に乗るともっと多い，関西と関東を比べると違う，10 シーベルト照射を受けると死に至る，食べ物からも放射線がでてくる，など。これらはいずれも事実であるという理由だけで学校教育に持ち込むだけの必要性がどこにあるのだろうか。放射線という言葉に慣れさせるというのでは教育上大きな問題があると思う。

10. まとめ

高校物理，高校化学，大学初年級の理科授業では，自然科学における論理と人類がこれまでに獲得した自然に対する理解のうちの基本的なことを学ぶものである。ここでは特に物質がどのようにできているかを考える。陽子（原子核）のまわりを運動する電子の波動性（定常波を形成）から安定性を理解するとともに量子化（複数個の定常波の存在）について理解することが必要である。原子が単一の原子核と(複数の)電子との系であるのに，分子は複数の原子核と複数の電子の系であるが，定常波と量子化については同じことがいえる。入射してくる高速荷電粒子（放射線）はこの電子に対して瞬間的にクーロン力を作用させるが，電子は量子化によりある一定値（典型的には 10 eV）以上のエネルギーを受け取ることがない限り何の影響も及ぼさない。このためにほとんどの場合で，高速荷電粒子(放射線)は原子や分子をただ通り過ぎるだけである。このときにただ通りすぎる以外に，非常にまれではあるが，原子・分子内の電子を弾き飛ばす確率がある。その確率は，ガンマ線，電子線，イオン線，中性子線など放射線の種類によって異なる。原子・分子内の電子に放射線が作用するとき，電子は波動としてではなく粒子として挙動する。荷電粒子が電子に衝突するとき，電子の運動量変化は力とその力が作用する時間（衝突時間）の積によって決まり，荷電粒子の速度は衝突時間に関係し，また電荷の大きさは力の大きさに関係するので，荷電粒子の速度と電荷の大きさに依存する。非常に周波数が大きいガンマ線(電磁波)は，原子・分子内で固有の周波数で運動している電子にとっては中性の点粒子としてしか感じない。また中性子は電荷をもたないのでクーロン力は関係しなく，原子核内の核子と強い力でしか反応しない。

こうした物質を構成する微細粒子の挙動を学ぶことから万物がどのようにできているか，さらに生命がどのようなものであるか，宇宙はどのようにつくられているかの理解につながるものであるが，後者については次回に続編として報告する。

参考文献

1) 小田稔編「物理 II」（数研出版）。この教科書の存在は広井禎先生に教えていただいた。
2) A．アインシュタイン，P．インフェルト「物理学はいかに創られたか(上・下)」(岩波新書 51)
3) E．セグレ「X線からクオークまで」（みすず書房）；S．ワインバーグ「電子と原子核の発見」（日経サイエンス社）
4) 自然科学原典シリーズ「近代科学の源流―物理学編 III」（北大図書刊行会）
5) 池内 了「宇宙進化の構図 (科学全書 29)」（大月書店）
10) 水島三一郎「物質とはなにか――原子から微生物まで」（講談社）
11) 並木美喜雄「 量子力学入門 (岩波新書 210)」（岩波書店）

放射線教育 Radiation Education
Vol. 7, No. 1, p. 35−42 (2003)

原子力という用語を一切使わない原子力ＰＡの試み

荒谷　美智
財団法人　環境科学技術研究所
（〒039−3212 青森県上北郡六ヶ所村尾駮字家ノ前１−７）
（2004 年 3 月 8 日　受理）

[要約]　日本人は広島・長崎・ビキニの体験をアレルギーという非生産的な形で既に半世紀以上も引き摺っている。これは理由のないことではないが、一つには、何となくすべて漠然と戦争否定の気分を放置してきた国民的怠惰による。この状況を乗り超える一つの方策として原子力という用語を一切使わない原子力ＰＡ（Public Acceptance: 国民的合意形成）の試みについて述べる。

はじめに

最初が爆弾という形をとったことは残念であったが、原子が非分割（Ａ・ＴＯＭ）でないことが解って（1895）以来、漸く半世紀の後（1945）、そこに潜むエネルギーが解放されたことは人類史における新段階であると、日本でもほとんどの科学者が感じたことは多くの文献によって明らかである。

これは、物質の理解という普遍的な次元に属することであって、科学者が冷たいとか、祖国愛に欠けるとかいう次元とはおよそ異次元のことである。したがって戦後に行なわれた教育制度改革の中で、義務教育の段階から逸早く物質の理解という普遍への道を付けることが最善の方策であったと考えられる。しかしながら、当時は生活単元と言って身の周りの具体的なものを優先する教育で、普遍への道は閉ざされたのであった。

日本の原子力事始

原子力の平和利用は、いうまでもなく米国のアイゼンハワー大統領の提唱(1953)によるものであり、これを受けて日本では中曽根康弘科学技術庁長官（当時）による 2350 万円の原子力予算決定を以って始まった（1954）。原子力委員会が、正力松太郎初代委員長のもとに発足（1956）し、以後、中曽根―正力ラインによって強力に（ある人々からは強引に）発進・推移してきたのが今日の日本の原子力である（村林・荒谷 2002）。歴史に「もし」は禁物であることは理解しているが、それでも、初代原子力委員であった湯川秀樹博士がもし委員に踏み留まって辞任ということがなければ、日本の原子力の今日はもう少し違ったものになっていたのではないか、という考えを禁じ得ないのである。理論物理学者、しかも、ほとんど哲学者といってよい資質の物理学者であった湯川博士にとって平和利用とはいえ中曽根―正力ラインはあまりに商業主義的なものと映ったのではないだろうか。そして、米国大統領に原子爆弾製造を進言する手紙を書き（書かされ？）それが実際に実現し現実に使われた衝撃と憂慮によりアインシュタイン博士らが始めた核兵器廃絶、さらにその先の平和運動や世界連邦という運動に湯川博士は夫人と共に収斂していく。とはいえ、日本の歴代総理大臣の中で中曽根大臣（当時）ほど科学としての原子力について真摯に学んだ人は無く、敗戦国の海軍技術将校として国家の将来を見透してのぎりぎりの親米

政策、あるいはより厳密には、米国を利用する政策だったと考えられるのである。どうやら、日本の原子力の原点には、両雄並び立たずという悲劇があったようである。

パグウォッシュ会議の二面的影響

冷戦の極点において水素爆弾が出現し、核戦争の危機が迫っていることを憂慮したラッセルとアインシュタインは 1955 年、人類が直面する悲劇的な情勢を克服するため、国家やイディオロギーを超えてヒトという種の一員として科学者が集まり、世界の諸政府に対して、彼らの目的が世界戦争によっては達成されないことを自覚し、このことを公然と認めるよう勧告する決議を出すことを宣言した。この宣言に基づいてカナダ東部ノバスコシア州の海辺の小さな町パグウォッシュで東西両陣営の科学者が＜科学と世界問題に関する会議 Conference on Science and World Affairs＞を開催した。これが、開催地に因んでパグウォッシュ会議と呼ばれているものであるが、会議はラッセル、アインシュタイン、湯川博士を含む５名によって招請され、朝永振一郎博士を含む 22 名の科学者が東西から集まり、声明を発表している。

パグウォッシュ会議は冷戦の緊張と厳しさの中から出てきたものであったが、厳密には、日本は、冷戦を戦う一項ではなく、冷戦の外にあって絶対的一国平和主義の中にまどろんでいたというのが実態であった。そうであればこそ、パグウォッシュ会議は、日本のマスコミでは単なる平和運動の文脈で語られるしかなく、軍事利用であれ民生利用であれ原子力に否をいうことが、ノーベル賞級の科学者の提唱による高級且つ普遍的なことであるとして短絡されてしまった。これが単に一般大衆的レベルでそうであったのみならず、知識人・科学者層の中にあってもそうであって、大学人は、原子核は研究するけれども原子力には手を貸さないことが、ある時期には公然とあり得たのである。

この会議の真の対立２項である東西両陣営にあっては、軍事利用はやめ平和利用に転換しようというということを真剣に考えていたのであるが、日本では平和利用さえも否定するところまで行ってしまい、現実的な民意が形成されるための健全な歯止めというものがあり得ない状況が続いてきた。しかも、それは、冷戦知らずという、という正にその現実に起因するものであった。本来、非常に困難で高次元のものが、現実の条件によって、非常に安易に低次元のものとして受け止められ、作用してしまったのであった。

マスコミによるアレルギーの恒常的再生産

パグウォッシュ会議のような本来非常な危機感を孕んだ崇高な決意に基づく高次元の問題とは別に、マスコミの日常的な次元で原爆は怖い・イヤ、原発も怖い・イヤという気分の再生産が恒常的になされているという現実があった。新聞読者側にも義務教育レベルの基礎知識の欠如という基本的条件が作用しているであろう。さらに、原子力が、よくないニュースとしてのみ紙上に表われ、喧伝されるのは、記者自身における同様の状況の反映によるものであり、原子力に対する倦厭気分がこの意味でも日々再生産されることになった。これは、全くの悪循環という他なく、エネルギーに関する国家百年の計を困難にするものである。現代社会が存立して行くためのエネルギー問題の基礎として本来、義務教育で対応すべきところ、現在のように、後手に廻った PA というものが社会的費用という面から見てどんなに非効率で高く付くものであるか、半世紀以上も経った今、説得的な研究が出てもよい時期であろう。

地域的な柵に原因する地域的感情

明治維新における廃藩置県に際して文化的に異なる地域が一県として括られたことによる地域的感情にまで淵源が遡れるような、確執と言わないまでも、ある種の非妥協的な感情が各地で認められる。例えば、長野県における長野側と松本側、栃木県における栃木と宇都宮、福井県における越前と若狭、青森県における南部と津軽など枚挙にいとまがない。ここでは筆者自身が在青 10 年余の間に体験したこの地域感情が原子力の問題にどのように表れているか触れない訳にはいかない。

青森県の日本海側は黒潮の支流である對馬暖流に洗われ、米、りんご、その他果物などの農業的生産性の高い地域である。また、弘前は城下町であり、旧制高等学校が設置されていたなど文化的レベルの高さを誇っており、極めてプライドの高い土地柄である。

一方、青森県の太平洋側は、やませと呼ばれる夏の偏東風による冷害の常習地帯であり、古来、農業生産性の低い地域であった。古代から戦国時代また太平洋戦争までは有数の馬産地として栄え、砂鉄による鉄器、海産物など米作に拠らない産業で特徴ある地域であった。しかし、戦後は軍馬の需要も無くなり、自動車産業の勃興により、馬産は完全に廃れた。敗戦による外地からの引き揚げ者の入植による開墾・酪農の振興はあったものの、甜菜による製糖工業、砂鉄による製鉄産業などの開発計画も実らず、石油コンビナートの誘致が考えられたが相次ぐ石油ショックにより、国家石油備蓄基地という形に矮小化された（荒谷 1999)。いずれにしても産業的には恵まれない地域であったが、日本における原子力発電所の使用済み核燃料の処置を巡ってその再処理工場の立地地域として当地が浮上し、今日に至っている。平成 17 年度から再処理工場が稼動する計画であったが、原子力発電所から搬入された使用済み核燃料を再処理開始まで冷却・貯蔵するためのプールが、不良溶接のために水漏れを起こすなどの問題の対応に手間取り計画は全体として遅れている。

このような太平洋側の状況に対し、弘前を中心とする日本海側からの見方は誠に厳しいものがある。例えば、本フォーラムの事業である原子力体験セミナー文系コースの青森市開催にあたって教育委員会はじめ、学校、知人など考え得る手づるを通して、周知のために多大の努力が払われたにもかかわらず、この地域からの参加者は無かったのである。おそらく、その地で暮らす人々の意識の中では原子力を必要とせず、誘致する必要もなく、これからもないであろう、というような感覚で暮らしているのではなかろうか。このような地域にあって、どうして「原子力」という言葉を使って PA 活動が可能であり得ようか。

湯川秀樹博士をめぐる状況の小柴昌俊博士における再現

使用済み核燃料の再処理事業の遅れと密接に関連していると見られる動きとして１）国際熱核融合実験炉（ITER）の六ヶ所村への誘致、ならびに２）使用済み核燃料の中間貯蔵施設のむつ市誘致がある。ITER についてはこれまで村、県、国が一体となり誘致に努めてきたが、小柴昌俊博士が、ITER から大量に出る中性子を避けることが出来ない以上、誘致すべきではないということを繰り返し新聞紙上で表明されてきた経緯がある。

核分裂によるエネルギーは我が国でも事実上電力の 30%を供給しているという実績があり、地続きであることから国家間で売電が可能なヨーロッパでは 75%（フランス）という例もあるが、核融合によるエネルギーのほうは爆弾の成功（ビキニ環礁での実験）後、半世紀を経ても核融合発電はまだ実験途上の域を出ていない。これは核融合研究の力点が長い間プラズマ研究に置かれてきたこと無関係ではない。プラズマの研究無くして核融合

はあり得ないが、材料研究も車の両輪である。核融合発電が実現されてない以上、原子炉（分裂炉）材料以上に融合炉材料の研究は必要である筈なのに材料面の成果が一体どうなっているのか。例えば何℃までの高温に耐えられる材料が開発されたとか、どの程度の強度まで中性子照射に耐えられる材料が出来たとか報道されたことがあったろうか。核融合炉こそものづくりの面でこだわるべきであろう。

また、小柴博士は核融合の専門家ではない、核融合の専門家でない小柴博士に何がわかるかと否定したり、一方ではノーベル賞受賞者が反対しているから反対することが高級なことだと考えたりするような極端な両極の短絡が見られ、嘗て原子力発電の際に理論物理学者に何がわかるかと軽んじたり、反対を唱えることが高級と考えたりするのと同じようなおかしな状況が現出している。もとより小柴博士は原子力委員会と関係はないし、戦後しかも本邦初の受賞とでは問題の大きさは違うけれども、質的には同じ愚の繰り返しのように見えるのである。

宇宙の魅力

原子力と宇宙は現代の巨大科学の双璧であるが、原子力のほうはアレルギーとか反対とかとくに我が国では負の面を歴史的に背負ってしまったが、宇宙のほうは、いろいろなアンケート結果などをみても一般市民、大人にとっても子供にとっても魅力に富んだ分野のように思われる。これはやはり、現代の宇宙科学というよりもむしろ宇宙論からみて、人間も地球という特殊な星の上に生きるものとして、宇宙的に生成された元素より成るという点で疑いもなく星の子であるという宇宙的な認識からであろうか、宇宙というと大人も子供も或るわくわくとした感情をかき立てられるように思われる。つまり原子力と言っても、よくて、精々何も感じないか、悪ければ反撥を感じるところ、宇宙と言うとそれだけで魅力的な話題なのである。また、宇宙ではロケットが失敗してもそれほどこわいとか反対に繋がることなく無関心に留まるか大目に見られる。とにかく公衆は宇宙に対して甘く、原子力に対して厳しい。考えてみれば不思議なことであるが、大空とか宇宙は新聞記者にとっても魅力があるのかも知れない。それだけ原子力のほうが現実的な問題ということであろう。このような現状を考慮し、原子力という言葉に特別の抵抗感のある地域において原子力という用語を意識的に一切使わないPA活動を試みようと考えて数年になる。

原子力という用語を一切使わないPAの試み：

その１「もっと知りたい身近なエネルギー源」（青森県 2001）

平成１３年８月、弘前市で開催された平成 13 年度の青森県ならびに北東北三県の夏季休暇中の科学行事「あおもり青少年科学セミナー２００１」兼「第 1 回北東北青少年科学セミナー」におけるワークショップとして行なったものである。演示講師は、六ヶ所村読書愛好会の女性や、日本女性科学者の会青森県内在住の会員によるボランティアであった。

我々の身近なエネルギーとして熱、光（電磁波）、電気、位置（重力）があることを各種ポスターで展示し、エネルギーは相互に転換するが、どんなエネルギーも最後には熱になってしまい、一度熱になってしまうと他のエネルギーに転換するに大変非効率になってしまう、というようにエネルギーに関する基礎知識を与える。その上で光よりずっとエネルギーの高い電磁波を測る機器の一つとして「はかるくん」を持ち出し、すべてのものは電磁波を放出しており、この機器を使って身の周りのもの、自分自身の身体はじめ会場も

含めて、屋内はもとより屋外にも出て一切合切測ってみて記録しよう、という試みである。

六ヶ所村は農業、漁業、水産加工業、酪農業が盛んな所であり、それぞれの産業に従事している女性たちが地元の環境試料を自主的に作製して随時持ち寄り、保管している。これらは再処理工場の稼動以前における BG 試料と考えて測定済みのものであり、この他、自然界における高レベル試料としてブラジルの砂なども数種保管している。このワークショップ開催に際しては、さらに鉱物、六ヶ所村出土の縄文土器、日常陶器も多数用意した。簡易ガンマ線測定器「はかるくん」は環境研はじめ村内各学校に用意されているが、30台以上纏まって使う場合には、東海村の放射線計測協会から借用している。弘前大会の際は50台使用した。

身の周りの電磁波を測るという作業により、すべてのものはエネルギーを出しており、それは最後には熱エネルギーなってしまうこと、ものによって少ししか出していないもの、たくさん出しているものがあり、その範囲は数百倍に及ぶことなど大人にとっても子供のとっても一大発見であり、体験的に理解し、大変面白かったようである。測定試料を測る順路の最後にブラジルの砂など自然の高レベル試料を配置することがこの種の行事の演出上極めて重要である。必ず歓声があがる。しばし発見の歓びにひたっている。天然物のレベルとして数倍の範囲内で高低があることを理解したその後で、それを遥かに上まわる桁違いの高レベル天然物に出会うところがミソである。この行事は青森県としては第３回目に開催された「青少年科学セミナー」であったが、「これが面白かったので、第４回（むつ市）、第５回（青森市）にも来た」という親子が何組かあったことが後のアンケート結果で判明している。

原子力という用語を一切使わない PA の試み：

その２「環境とエネルギーの基礎」（青森県 2002）

これは平成 14 年８月にむつ市で開催された「あおもり青少年科学セミナー２００２」におけるワークショップである。演示講師として六ヶ所村読書愛好会の女性たちである。ここではエネルギーという観点の他、環境という観点を加え、環境の物質的理解の基礎として周期表（荒谷 2001）を使用した。環境を理解するための簡単な講義、地球上では 92 番元素までが自然にある元素、93 番からは人工的装置（例えば原子炉など）の内部で得られる元素で 92 番元素以上は大きなエネルギーを持っている、などを行なった上で、弘前の場合同様、物質から電磁波という形で出されているエネルギーを測るという作業に入る。多様な環境試料を並べて順路の最後に高レベル試料を配置することは同様である。会場が大変奥まった部屋であったこと、天候から言って屋外にでることは適切でなく、会場内のみでの測定となった。やはり最後にブラジルの砂を測定し、中にはあまりに大きい桁違いの値に間違いではないかと思う人もある。間違いでないと解ったときの驚きは誰にとっても途方もなく大きい。

原子力という用語を一切使わない PA の試み：

その３「しぜん放射線タンケン隊」（青森県 2003）

これは「青少年科学セミナー」が青森市、八戸市、弘前市、むつ市と県内を 4 年で一巡した後、「サイエンスフェア」と名称が変って再び青森市で開催された夏季休暇中の科学行事である。青森県県営スケート場の広大な屋内・屋外を会場としてふんだんに使った行

事であった。演示講師は六ヶ所村読書愛好会、日本女性科学者の会、青い森・科学 BBL のメンバーである。まず、屋内で測定器の説明を行い、二三の環境試料を測定したり、上方向に向けて測定したり、自分の身体などを測定してみる。その後、演示講師と共に屋外に出向き、土壌、建物（壁面）、敷石など測って屋内にもどり、最後に高レベル試料を測定、という順序である。ここではワークショップ名の中に放射線という言葉があるのみで「医療診断で使うX線よりややエネルギーの高い自然の電磁波」という説明で一貫した。ただし宇宙線という言葉については、星からのメッセージということで多用した。

原子力という用語を一切使わないPAの試み：

その４「小柴先生とニュートリノ」

これは青森市内にある総合社会教育センターを拠点とする「あおもり県民カレッジ連携機関」である青い森･科学 BBL によるセミナーの一つとして行なわれた。対象は大人のみであった。小柴博士のノーベル物理学賞受賞に関連して平成 15 年 2 月、県民福祉プラザを会場にニュートリノ、電子、超新星爆発など宇宙に関する話題として取り上げたものである。 物質の構成要素の一つである中性子は電気的に中性で、安定な原子核内に存在する場合には半減期無限大であるが、不安定な原子核内または単独に存在する場合、それが陽子に変る時、電気のマイナス分は電子になって放出される（ベータ線、これを数える簡易測定装置が「ベータちゃん」）。その時、残留核と電子だけに着目する限りではエネルギー的に合わないことが分かってパウリがニュートリノという仮想的な粒子を導入して帳尻を合わせたのだったが、後にそれが実在する粒子であることが種々の実験から証明され、日本では小柴博士が浜松ホトニクスによる極超高感度測定器の開発という、ものづくりにこだわった道を通って、超新星の爆発によるニュートリノ（１１個！）を日本の神岡鉱山跡の地下実験室で捕まえた、というような短い講義をしてから「ベータちゃん」で色々な試料から出てくる電子を数えるという作業に入る。電子については単位が、測定器の背面の窓に入ってくる１分間あたりの電子の数（counts per min ＝ｃｐｍ）であり、直観的で解り易い。３００ｃｐｍで振り切れるが、計数の上昇速度や計数音の頻度から数の大小は充分で理解でき、高レベル試料での定量性はないとしても定性的な理解には充分である。また、この場合、常に

電子の数＝ニュートリノの数

が成り立ち、その試料から遠い宇宙に向かって出て行くニュートリノの数を測定していることになる。このように見てくると「ベータちゃん」による測定は、なかなか奥深くて楽しいものに思えてくる。宇宙という言葉がでると、とたんにものごとがロマンチックに響くのが不思議である。

原子力という用語を一切使わないPAの試み：

その５「ベータちゃんで小柴ハカセしよう」

これは平成 15 年 9 月に青森市の三宝学園あすなろ幼稚園で父母参観日のための科学行事として行なわれたものである。演示講師は青い森･科学 BBL のメンバーであった。これより先､平成10年9月にもこの幼稚園で父母参観日のための科学行事が行なわれており、当時は「環境ホルモン」が話題として取り上げられ「母と子の科学教室」と銘打って行な

われ、それをうけて今回は「父と子の科学教室」として開催されたものである。

これも主題は超新星爆発という宇宙の話が主題である。先ず線香花火を見せ、希望する子には自分でやらせ、火球が形成されてジージー震えて燃焼しながらも、ある種の定常状態を保っている状態を観察、次に松葉状というか火花が断続的放出される段階、そして最後に燃え尽きる終盤、これを「お星さま」（太陽も含めて）のモデルとイメージしてもらって、光や宇宙線、ニュートリノについて解り易くお話する。それからあとはお父さん、お父さん替りのお母さん、保母先生、演示講師と園児たちと組になって一緒に身の周りの色々なものを測ってみるというやり方である。そしてベータちゃんの示す目盛りの数は1間分間に試料から出る電子（電気の素）の数であり、またニュートリノの数である、というお話をする。この作業をすることでニュートリノというものが、もともと身近だった電気のレベルに降りてくる一面、今・ここから宇宙へ向かって旅していくものがあるということから、皆ちょっとロマンチックな気持になる。

この行事では、大テーマを青森県に相応しいように「自然と科学の調和を求めて」とし、「八甲田の水 酸性？ アルカリ性？」「雲谷（もや）の自然に学ぶ」という身近な自然にかかわる演示も併せて行なった（工藤他 2003）。なお、雲谷とは青森市から八甲田に向かう途中にある里山で、30 万都市の至近距離に位置するにしてはまだ豊かな自然が残っている場所である。

以上いくつかの試みについて述べたが、いずれも原子力という言葉を使わないことで一貫している。放射線という言葉は必要最低限度には使った。このような体験を一度した後では、原子力という言葉を聞いても原子力についてのアレルギーや、原子力という言葉の持つ何となしの押し付けがましさを感じないでも済むようになっていると思われる。この押し付けがましさは自然の実体の名称であることによるものではなく、例えば、この言葉を使う人の＜国策である以上国民は受け容れるのは当然だ＞のような無言の態度、あるいは無意識的意識によるものではなかろうか。この辺の分析は、自然科学というよりはむしろ心理学など人文科学・社会科学の領域に属することであろう。この意味で、平成 15 年度第 2 回原子力体験セミナー文系コースワークショップにおけるセミナーの名称に関する討論は大変興味深く聴いた。お客に抵抗感ありと分かっている看板をあえて出すお店が果たして繁盛するものかどうか、人文科学・社会科学の人々も交えて真剣な討論を深めるようを期待する。

核エネルギーの平和利用に期待される日本人の貢献

アイゼンハワー大統領の原子力平和利用提唱から半世紀を経た今なお、プルトニウム爆弾を造ろうとしている国々がある。それらの国はどちらかといえば食うや食わずの限界線上にある貧しい国々である。第二次世界大戦中にナチスドイツから命からがら米国に亡命してきたユダヤ人（またはユダヤ系）科学者は、自分の生命を賭して原子爆弾製造を大統領に進言し、手紙を書いたり、また開発に邁進したりした。そこにも限界線上の人間集団があったのである。省みて思うに現代日本にはこのような、ぎりぎりの限界線上の人間集団が不在で、且つ、完全なる秘密主義も貫徹しそうもないところでは原子爆弾の製造などおよそ不可能であろう。今日、日本人は、米国のよく考え抜かれた占領政策と、米国による《核の傘》のもとで実現した高度成長の成功で傲慢不遜になり、その成功体験に安住し、

すっかり腑抜けになっているようである。米国は、このような日本人がウランやプルトニウムを扱っても問題ないと踏んでいる筈で、絶えず日本の現状を冷徹に観察している目があると思われる。現代の日本人はよくも悪くも明治期のような国家的な情念が欠如しており、本来、四季にめぐまれた温和で晴々朗々の島国の人間であるから、秘密とか謀略とかは本質的に性に合わないようで大陸的な国家にいいようにあしらわれている。だからと言って自ら日本をおとしめて言う訳ではなく、皆、孫や曾孫の世代を見据え、希望を持って日々活動している。おめでたくて性善説で多神教の日本人こそ 21 世紀に何事か出来る可能性を秘めているように思う。

唯一の被爆国といいながらも怨念に囚われることなく（ユダヤ教徒、キリスト教徒、イスラム教徒などにとってはこれがなかなか理解しにくいようであるが)、国民的レベルで精々アレルギー程度に留まって国策レベルでも平和利用に徹することが出来る点にむしろ期待が持てる。これまでの核エネルギー解放の経緯で爆弾経由で確立された既存の技術にとらわれることなく、自由な発想でじっくり基礎研究から固めていき原子力を自家薬篭中のものにするポテンシャルを日本人は充分持っているものと信じる。そこで、アレルギーを無くすための一つの方法として原子力という用語を使わない原子力 PA を核燃の村六ヶ所を擁する青森県で地元の人々と続けている次第である（荒谷 2001)。

参考文献

青森県：第 1 回北東北青少年科学セミナー・あおもり青少年科学セミナー2001 弘前大会実
験解説集 67, 2001

青森県：あおもり青少年科学セミナー2002 むつ大会実験解説集 50, 2002

青森県：サイエンスフェア 2003 in AOMORI 実験解説集 10, 2003

荒谷美智：社会教育としての核・放射化学教育, J. Nucl. & Radiochem. Sci., Supple. Vol.1, 129, Oct. 1999

荒谷美智：JCO 事故後の下北半島市民による自主的な科学活動の計画, Proceedings of the Second Workshop on Environmental Radioactivity 249, KEK, Tsukuba, March 2001

荒谷美智：中性子を含む周期表について, 放射線教育 Vol.5, No1, 37-40, 2001

工藤美智子・釜菟テイ・對馬和子・内海文子・荒谷美智・長内侑子：生涯教育における科学教育
日本女性科学者の会学術年報 Vol.4, No.1 2003 掲載予定

小柴昌俊：東奥日報 2002 年 10 月 9 日, デーリー東北 2003 年 3 月 18 日

村林久美子・荒谷美智：「原子力半島」などの用語について, J. Nucl. & Radiochem. Sci., Supple. Vol.3, 63, Sept. 2002

放射線教育 Radiation Education
Vol. 7, No. 1, p.43--52 (2003)

放射線育種と酒造好適米

坂内　忠明
放射線医学総合研究所
（〒263-8555　千葉市稲毛区穴川 4-9-1）
（2004 年 3 月 5 日　受理）

（要約）話題として取り上げられることの少ない放射線育種による酒造好適米の品種改良の調査を行った。間接的な利用を含めると、現在生産されている品種の数も多く、日本全体の３分の１ほどの県で産地品種銘柄として栽培されていた。

1.　はじめに

酒造に使用される米は酒米と呼ばれ、更にその中でも酒造利用を目的とした米を酒造好適米と呼ばれる。

この米は食用の米と大きく違う点がいくつかある。まず米粒の中心に心白（白色不透明の部分、米粒の中の空隙）がある。心白があると吸水性消化性が良くなり、菌糸が伸びやすくなる為、麹菌のはぜ込み（米粒の中に菌糸が入り込んだ状態）も良くなる。心白は大粒の米に発生しやすいので、大粒の米が好まれる。また、蛋白質、脂肪、無機物などのように麹菌や酵母の生育を過度に良好にさせてしまう成分が少ないこと等が挙げられる [1]。

酒造好適米の生産量は、米全体の生産量から比較すれば非常に少ないが、酒造好適米は価格も高く、こだわりを持った酒造になくてはならない存在である。

酒造好適米には、放射線育種によって生み出された米もしくはその米を交配させて育種された品種も多い。例えば、酒造好適米の中で生産量が３位 [2] であり酒造好適米の約１割を占める美山錦は、放射線による品種改良でできた米である。

しかし、美山錦がこのようにしてできた品種であるということは、食用の米の品種改良（例：レイメイ）の場合と違い、放射線についての初心者向けのテキストに載ることはほとんどなく、原子力データベース（例：原子力図書館げんしろう）等でも検索にかからない。酒造好適米の品種改良は、放射線に関する社会教育の観点からも広く知られても良い項目ではないかと考えられる。

そこで、今回、郷土史的な観点からも放射線に関連した事項が学べるように、データベースを構築する一環として、放射線育種がかかわる酒造好適米について調査を行った。

2.　調査内容

農林水産省では農産物検査法第６条第１項の規定に基づき農産物規格規程を制定している。醸造用玄米の産地品種銘柄は平成 13 年に大きく改正され [3]、毎年少しずつ改正されている [4, 5]。今回は「平成 15 年醸造用玄米の産地品種銘柄」を元に、放射線照射により改良された品種、およびその系統を引いている品種を選び出した。

選び出された品種の特性、奨励されている産地を調べてまとめた。

3.　結果

表１　放射線育種が関与する酒造好適米

品種	系統名	育成場所	交配した品種		備考
			♀	♂	
兵系酒 18 号	兵系酒 18 号	兵庫県立農業試験場	山田錦	**IM-106**	
豊盃	青系 77 号	青森県立農業試験場	古城錦	**レイメイ**	
おくほまれ	青系 79 号	青森県農業試験場	*兵系酒 18 号*	**レイメイ**	
華吹雪	青系酒 97 号	青森県農業試験場	*ふ系 103 号*	*青系 79 号*	
兵庫北錦	兵系酒 38 号	兵庫県農業試験場 酒米試験地	*兵系酒 28 号*	五百万石	
吟の精	秋田酒 50 号	秋田県農業試験場	合川 1 号	*秋系 53*	
一本〆	新潟酒 28 号	新潟県農業試験場	五百万石	*豊盃*	
出羽燦々	山形酒 49 号	山形県農業試験場庄内支場	**美山錦**	*華吹雪*	
神の舞	島系酒 48 号	島根県農業試験場	五百万石	**美山錦**	
石川酒 30 号	石川酒 30 号	石川県農業総合試験場	五百万石	*華吹雪*	
秋の精	秋田酒 53 号	秋田県立農業試験場	トヨニシキ	**美山錦**	
星あかり	K101	加工米育種研究所	初星	**美山錦**	
吟ぎんが	岩南酒 13 号	岩手県立農業試験場県南分場	*出羽燦々*	秋田酒 49 号	
酒未来		高木辰五郎（山形県村山市）			**山酒 4 号×美山錦**
龍の落し子		高木辰五郎（山形県村山市）			**美山錦×山酒 4 号**
夢の香	福島酒 2 号	福島県立農業試験場	八反錦 1 号	*出羽燦々*	
美郷錦	秋田酒 55 号	秋田県立農業試験場	山田錦	**美山錦**	
羽州誉	羽州錦 2 号	高木辰五郎（山形県村山市）			**美山錦×玉龍 F10**
華想い	青系酒 140 号	青森県立農業試験場	山田錦	*華吹雪*	
兵系酒 65 号	兵系酒 65 号	兵庫県立農業技術センター	ひだほまれ	*兵庫北錦*	
兵系酒 66 号	兵系酒 66 号	兵庫県立農業技術センター	*吟の精*	*兵庫北錦*	
風鳴子	高育酒 63 号	高知県立農業試験場	**露葉風**	*一本〆*	
(越の雫)	大系 5 号	福井県の JA テラル越前			**美山錦**×*兵庫北錦* 2003 年 8 月品種登録

系統のところで放射線照射により改良された品種は太字で、その系統を引いている品種を斜体字で表した。

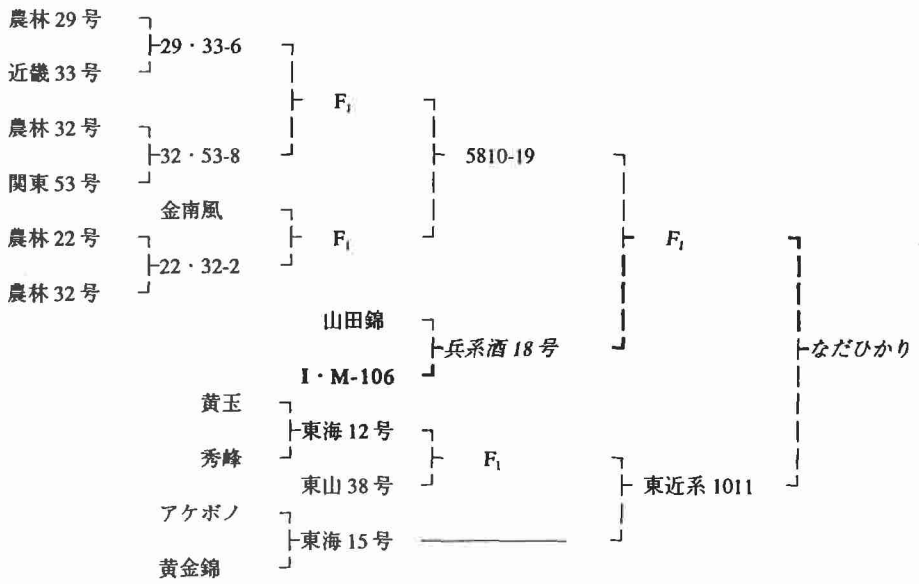


図１：なだひかりの系統

放射線照射により改良された系統を引いている品種である酒造好適米は表 1 の 21 品種である。

3.1 直接品種改良された品種

酒造好適米に関与する品種のうち、放射線により改良された品種は次の四つである。

1) レイメイ
2) 美山錦
3) しらかば錦
4) IM-106

これらの品種については、下記に各々取り上げる。

3.1.1 レイメイ

1959 年、神奈川県平塚市にある農業技術研究所の ^{60}Co を線源としたガンマールームで、フジミノリに、^{60}Co のγ線を 20kR (5.2×10^{-3} C kg^{-1}) 照射し変異させて新しい品種を作ることが試みられた[6, 7]。その時できた品種が「ふ系 70 号」と「ふ系 71 号」である。「ふ系 70 号」は収量が多く、耐倒伏性を持った品種である。この籾はフジミノリや藤坂 5 号を育成した青森県の藤坂支場に育成を頼んだ。この品種自体は酒造好適米ではないが、酒米として使われることもある。この品種を親にして育種された酒造好適米「豊杯」「おくほまれ」等、更にこの系統を引く酒造好適米「一本〆」「華吹雪」等、数多い。

3.1.2 美山錦

1972 年、放射線育種場（ガンマフィールド）でたかね錦（酒造好適米）に、^{60}Co のγ線を 30kR (7.8×10^{-3} C kg^{-1})照射し変異させて作られた品種「信放酒 1 号」である[8]。もとのたかね錦は酒造好適米であるものの小粒で、心白発現率が低く、玄米中の蛋白含有率が高かった。「信放酒 1 号」は大粒化し、心白粒率が高く、酒造には非常に都合の良い品種である。この籾は 1978 年まで長野県農業試験場で育成された。これ自身も酒造好適米として優れている為、生産されているが、この品種を親にもつものとして「神の舞」「美郷錦」等が挙げられる。

3.1.3 しらかば錦

1973 年、放射線育種場（ガンマフィールド）でレイメイに、^{60}Co のγ線 20kR (5.2×10^{-3} C kg^{-1}) を照射し変異させて作られた品種「信放酒 4 号」である。長野県の準高冷地向の銘柄米としては「ホウネンワセ」があったが、収益性が低いため、標高 700m から 800m の準高冷地向の酒米が望まれていた（美山錦は標高 700m 以下の生産地向け)。「信放酒 4 号」は、レイメイと比較して大粒で、心白化しており、酒米として適していた。この籾は 1982 年まで長野県農業試験場で育成選抜され、1983 年に品種登録された[9]。日本では、放射線育種により食用米から酒造好適米ができた唯一の例である。

3.1.4 IM-106（「兵系酒 18 号」の父系統）

農林 8 号に、^{60}Co のγ線を照射し変異させて作られた品種である[7]。この籾を父とし山田錦（酒造好適米）を母として交配することにより、兵系酒 18 号が育成される。兵系酒

18 号はさらに交配することにより、「なだひかり（兵系酒 28 号)」[10]を生み、「なだひかり」から更に「兵庫北錦」以後の系統が生まれる。なだひかりの系譜を図 1 に示す。なだひかりと同じ系譜を持つ品種として「六甲錦（兵系酒 36 号)」がある。六甲錦はなだひかりよりも、育成年次が五年程遅い[7]。県南向けの品種であった。

3.2 掛け合わせによって生まれた品種

掛け合わせによって生まれた品種は表 1 の通りである。それぞれの酒造好適米について報告する。

3.2.1 豊盃

1967 年青森県農業試験場にて「青系 62 号（古城錦)」を母に、「レイメイ」を父として交配を行い、選抜固定の末、青系 77 号が育種された。1975 年 12 月に青森県の水稲奨励品種に採用された後、1976 年に青森県の酒造好適品種として普及奨励されることになった。従来、青森県では古城錦が栽培されていたが、稈長、稈質、収量、熟期の点で問題があり、豊盃が奨励されるようになった。青系 77 号は「ゆたかなさかずき」ということと津軽藩祖為信公が、全軍の志気を鼓舞する為に唄った「ホーハイ節」にちなんで「豊盃」と命名された[11]。

3.2.2 華吹雪（含む「おくほまれ、華想い」)

青森県農業試験場にて青系酒 79 号（おくほまれ）とふ系 103 号を交配することにより青系酒 97 号が育種された。交配は 1974 年であるが、10 年を超える選抜を行い、できあがった籾は、1986 年 3 月に青森県の奨励品種に採用された後、1988 年に品種登録された。青系酒 97 号は青森県を代表する弘前城の桜が、華やかに咲き誇る様にちなんで「華吹雪」と命名された[12]。

「ふ系 103 号」は奥羽 269 号とレイメイをかけ合わせてできた品種であり、この品種も放射線育種によって生み出された品種を受け継いでいる。同じ掛け合わせの「ふ系 104 号」はアキヒカリと呼ばれ、現在でも食用の米として栽培されている[7]。

青系酒 79 号（おくほまれ）はレイメイと兵系酒 18 号をかけ合わせて、できた品種である。つまり、華吹雪は放射線育種の積み重ねでできあがった品種と言える。青森県には酒造好適米として前述の「豊盃」があるが、華吹雪はこの豊盃より熟期が早く酒造適性も優れている。

華吹雪は、現在作付面積が酒造好適米の中で 8 位であり[2]、東北を中心に作付けされている。この品種を系統に持つ品種として「出羽燦々」がある。また、「華吹雪」は吟醸酒用としては心白部分が大き過ぎる為、山田錦を母に、「華吹雪」を父とした「華想い（青系 140 号)」が育成されている[13]。

3.2.3 兵庫北錦

県北部の但馬、丹波地方に適する酒造好適米を育成する目的で 1974 年に兵庫県農業試験場酒米試験地にて兵系酒 28 号（なだひかり）を母とし、五百万石を父として交配することにより兵系酒 38 号が育種された。兵庫北錦は 1986 年に兵庫県の奨励品種に採用され、1987 年に品種登録された。耐倒伏性は強く、玄米は大きく心白の発現も多い[14]。

3.2.4　吟の精

秋田県では従来「改良信交」「フクノハナ」「美山錦」等が栽培されていたが、県独自の酒米を育種する要望が高まったため、育種体制を強化した。その結果、生まれたのが「吟の精」である。1983 年秋田県農業試験場でアキユタカの自然突然変異である合川 1 号を母に、秋系 53 号を父にかけ合わせ育成された。秋系 53 号は美山錦とフクノハナをかけ合わせたもので、美山錦の大粒で心白の発現性が良さを継ぐ系統である。1992 年に酒米として秋田県の奨励品種に採用され、1993 年 1 月に品種登録された [15]。

3.2.5　一本〆

新潟県では五百万石等が栽培されているが、栽培が難しく作付面積が停滞していた。また五百万石は搗精を高めると壊れやすいという欠点を持ち、産地間の競争も強まる中、県独自の酒米を育種する要望が高まっていた。そこで、1981 年新潟県農業試験場で五百万石を母に、豊盃を父としてかけ合わせ育成された。1983 年雑種 2 代で個体選抜を行い、以後系統育種法により選抜固定を行った。1986 年「長 794」の系統名をつけ生産力の試験を行い、1988 年「新潟酒 28 号」の系統名を付けた。1993 年に「一本〆」と命名し、秋田県の奨励品種に採用され、1994 年 12 月に品種登録された。この品種は「五百万石」並の品質を持ち、精米歩合を高めても壊れにくく、強稈、多収、耐冷性強化の特徴を備えた。命名の由来は「さわやかできりっとした新潟の清酒に向いた酒米」を意味している [16]。

3.2.6　出羽燦々

山形県では従来「改良信交」が細々と栽培され、一部食用米が酒造用原料米として用いられていた。美山錦も栽培されていたが、山形県では栽培しにくく、県独自の酒米を育種する要望が高まっていた。1985 年山形県立農業試験場庄内支場で美山錦を母に、「青系酒 97 号（華吹雪）」を父として人工交配し選抜育成された。1989 年に「庄酒 792」の系統番号で特性検定試験を重ね、1991 年「山形酒 49 号」の地方系統名で現地試験等に供試した。その結果、耐冷性、収量、品質ともに美山錦を上回る品種ができあがり、1995 年山形県優良品種として採用された [17]。

現在作付け面積が酒造好適米の中で 9 位である [2]。

3.2.7　神の舞

島根県では「幸玉」「五百万石」「改良雄町」等が栽培されていたが、「五百万石」に作付が集中していた。「五百万石」酒造適性に優れているが、障害型冷害には弱い。そこで 1985 年島根県農業試験場で五百万石を母に、美山錦を父として交配育成された。1994 年「島系酒 48 号」として系統名を付け、1996 年島根県の奨励品種に採用された。耐冷性、収量安定性が認められたのである、名前は公募で決め、その後品種登録された [18]。

3.2.8　石川酒 30 号

石川県では従来「五百万石」が栽培されていたが、近年の日本酒ブームに伴い、高品質な酒造用原料米が求められるようになった [19]。石川県農業総合研究センターで五百万石を母に、「青系酒 97 号（華吹雪）」を父として交配し選抜育成された。この品種は高度精

白適性優れ、1996 年「石川酒 30 号」で品種登録した。現在石川県農業総合研究センターでは石川酒 30 号と山田錦を交配した石川酒 50 号を育成中である[20]。

3.2.8　秋の精

この品種は 1986 年、秋田県農業試験場でトヨニシキを母に、美山錦を父に人工交配して育成された。当時秋田県では「美山錦」等が栽培されていたが、秋田県の清酒全体の酒質を向上させるために県独自の普通酒用の品種を育種する要望が高まった。1991 年秋系 283 の系適番号で、1994 年から「秋田酒 53 号」の系統名で奨励品種の試験に供試した。この品種は栽培特性としては強稈、多収で、普通酒用としては十分な特性を持っていた。1999 年に秋田県の奨励品種に採用された。[21]

3.2.9　星あかり

「星あかり」は（株）加工米育種研究所で育成された品種である。この会社は日本たばこ産業（株)、麒麟麦酒（株)、東北電力（株）等が共同出資で、東北インテリジェント・コスモス構想に基づいて設立された研究開発の会社である[22]。「星あかり」は初星を母として、美山錦を父として交配育成され、1997 年 3 月に K101 として品種登録し、98 年に社内公募で「星あかり」と変更した[23]。この品種は吟醸酒や純米酒等を想定して開発されている。東北電力がこの商標を登録している[24]。

3.2.10　吟ぎんが

岩手県で栽培されている美山錦は心白の発現率が低く、耐倒伏性、耐冷性が不十分なため、新しい品種が望まれていた。1991 年岩手県農業試験場県南分場で「山形酒 49 号（出羽燦々)」を母に、「秋田酒 49 号」を父として交配育成された。「岩手酒 13 号」として 1999 年から岩手県で奨励品種として採用され、2002 年品種登録されている。この品種は、美山錦に比べ、障害型耐冷性、耐倒伏性が強く、大粒で心白発現が良好である[25]。

3.2.11　酒未来、龍の落し子、羽州誉

上記の三種は山形県村山市高木酒造の高木辰五郎氏が交配育成した品種である[26]。酒未来と龍の落し子は山酒 4 号と美山錦を、羽州誉は美山錦と玉龍 F_{10} を交配している[27]。株式会社アスクがこれらの商標を登録している[28, 29, 30]。

3.2.12　夢の香

福島県の酒造好適米の主要品種である「五百万石」は耐倒伏性や耐冷性が弱い品種であり、これに代わりうる品種が要望されている。また県内の酒造用の原料米の約 30%を他県に頼っている状況を解消するにも新しい品種が必要である。1991 年、福島県農業試験場において、八反錦 1 号を母、山形酒 49 号（のちの出羽燦々）を 父として人工交配、育成された系統である[31]。

3.2.13　美郷錦

高品質な酒米として知られる「山田錦」は秋田県での栽培が難しいため、「山田錦」を直接の交配親とし、「山田錦」を早生化した高品質、高蛋白質の品種の育成が望まれてい

た。そこで秋田県農業試験場では、山田錦を母、美山錦を父として人工交配し、育成した。高品質・低蛋白で、大粒であるため、吟醸酒用の原料米として高い評価を得ている[32]。

3.2.14　兵系酒 65 号、兵系酒 66 号

兵庫県では「兵庫北錦」より耐冷性の強い県北部向けの品種が望まれていた。また、心白が大きい「兵庫北錦」では高度精米には適していないため新しい品種が望まれた。

一つは 1990 年兵庫県立中央農業技術センター農業試験場酒米試験地で兵庫北錦を母に、ひだほまれを父として交配育成された。1995 年「酒 901-4」として系統名を付け、1998 年「兵系酒 65 号」の系統名を付けた。2001 年に種苗登録をした。

もう一つは 1993 年兵庫県立中央農業技術センター生物工学研究所で兵庫北錦を母に、ひだほまれを父として交配育成された。1996 年「酒 937-1」として系統名を付け、1998 年「兵系酒 66 号」の系統名を付けた。2001 年に種苗登録をした。両方とも耐冷性、高度精米特性を備えている[33]。

3.2.15　風鳴子

高知県における酒造好適米の生産量は非常に少ないが、県産米を用いた地酒生産への意向が強く、県独自の早稲の酒造好適米の新品種育成が望まれていた。そこで、1993 年に露葉風を母に、新潟酒 28 号（のちの「一本〆」）を父として交配し、そのF_1の葯培養を用いて育成した。2001 年に「風鳴子」として品種登録申請を行い、2002 年に奨励品種に採用された[34]。

3.3　産地について

奨励されている産地は表 2 の通りである[3, 4, 5]。放射線照射により改良された品種は太字で、その系統を引いている品種を斜体字で表した。酒造好適米の産地品種銘柄が指定されている 43 都道府県のうち、17 県に上る。

4.　考察

酒造好適米における放射線育種を用いた品種改良は、結果より 1970 年代に集中し、それ以降はその品種を交配して新しい品種を作っていることがわかる。

放射線育種に代表される突然変異育種法は、交雑育種と比べた場合、次の利点を持つ[35]。

1）既存の品種に存在しない遺伝子や野生種にしか見出せない遺伝子を、対象品種に誘発させて利用できる

2）原品種の遺伝子型を大きく変えずに特定の形質を突然変異で改良できる

3）交雑育種を適用しにくい作物の改良に役立つ

酒造好適米の直接の放射線育種の場合、2）の利点が大きいと言える。美山錦の場合、変異により、品質面での向上が図られ、レイメイの場合、もとのフジミノリは耐冷性の性質も持っていたが放射線育種により、耐倒伏性が加わり育てやすくなった。

交配に用いられた品種はレイメイと美山錦が中心であり、レイメイは東北地方や日本海側などで従来の品種にはなかった耐冷性を求めて交配され、美山錦は心白の発現率や粒の大きさ等酒造好適性を求めて交配された。1990 年代になると、醸造用アルコールを加えることができない純米酒や精米歩合が 70%以下の吟醸酒、地域の特色がある酒が望まれ

表 2：酒造好適米の都道府県別奨励品種

北海道	吟風、初雫
青森	（*青系 140 号→華想い*）古城錦、*華吹雪*、*豊盃*、
岩手	*ぎんおとめ*、*吟ぎんが*、~~美山錦~~、
宮城	蔵の華、*星あかり*、美山錦、山田錦
秋田	（秋田酒こまち）、*秋の精*、改良信交、*吟の精*、*星あかり*、*美郷錦*、美山錦
山形	*羽州誉*、改良信交、亀粋、京の華、五百万石、酒の華、*酒未来*、*龍の落とし子*、*出羽燦々*、豊国、美山錦、山酒 4 号、山田錦
福島	五百万石、*華吹雪*、美山錦、*夢の香*
茨城	五百万石、美山錦、山田錦、若水、渡船
栃木	五百万石、*華吹雪*、ひとごこち、美山錦、山田錦、若水
群馬	雄町、五百万石、~~ササピカリ~~、若水、
埼玉	若水
千葉	一本〆、五百万石、*華吹雪*、山田錦、若水、（総の舞）
東京	
神奈川	若水
新潟	一本〆、雄町、（菊水）、~~京の華~~、五百万石、たかね錦、~~出羽燦々~~、八反錦 2 号、*華吹雪*、北陸 12 号、~~美山錦~~、山田錦、
富山	雄山錦、五百万石、玉栄、美山錦、山田錦
石川	*石川酒 30 号*、五百万石、北陸 12 号、山田錦
福井	おくほまれ、九頭龍、~~強力~~、五百万石、神力、*大系 5 号*、~~華吹雪~~、山田錦
山梨	玉栄、美山錦
長野	金紋錦、しらかば錦、ひとごこち、美山錦
岐阜	雄町、（五百万石）、飛系酒 61 号、ひだほまれ、ひだみのり、
静岡	五百万石、山田錦、若水
愛知	夢山水、若水
三重	*伊勢錦*、五百万石、山田錦
滋賀	吟吹雪、玉栄
京都	祝、五百万石、美山錦
大阪	雄町、五百万石、山田錦
兵庫	愛山、五百万石、新山田穂 1 号、（神力）、たかね錦、但馬強力、早大関、*兵系酒 18 号*、*兵系酒 65 号*、*兵系酒 66 号*、*兵庫北錦*、兵庫夢錦、*フクノハナ*、山田錦、山田穂、渡船、
奈良	露葉風、山田錦
和歌山	
鳥取	強力、五百万石、幸玉、玉栄、*フクノハナ*、山田錦
島根	改良雄町、（改良八反流）、*神の舞*、五百万石、*島系酒 49 号*（→「佐香錦」）、山田錦、
岡山	雄町、山田錦
広島	雄町、こいおまち、千本錦、八反、八反錦 1 号、八反錦 2 号、山田錦
山口	穀良都、五百万石、山田錦
徳島	山田錦
香川	雄町、山田錦
愛媛	五百万石、八反、八反錦 1 号、八反錦 2 号、美山錦、山田錦
高知	吟の夢、山田錦、（*高育酒 63 号→風鳴子*）
福岡	雄町、五百万石、西海 134 号、西海 135 号、山田錦
佐賀	西海 134 号、さがの華、山田錦
長崎	山田錦
熊本	五百万石、神力、山田錦
大分	（山田錦）、若水
宮崎	はなかぐら、山田錦
鹿児島	
沖縄	

平成 13 年度の表を元に作成。
平成 14 年度に削除された品種は一重線で、平成 15 年度に削除された品種は二重線で消している。
平成 14 年度に加えられた品種は（）で、平成 15 年度に加えられた品種は【】でくくってある。矢印は品種の現在の名称を示す。

るようになり、それに対応できる品種が求められるようになった。そのため、従来の米と放射線育種によりできた新しい米をかけ合わせて、県独自の優れた形質を持つ新しい品種が作られるようになっていることもわかる。これらは放射線育種の 1）の利点を利用したものと言えよう。

総合的な学習の時間では、「地域や学校、子どもたちの実態に応じ、学校が創意工夫を生かして特色ある教育活動が行える時間」、「国際理解、情報、環境、福祉・健康など従来の教科をまたがるような課題に関する学習を行える時間」、と規定されており、「地域や学校の特色に応じた課題」を学習させているところは小学校で平均 64.2%、中学校で平均 63.7%と非常に多い[36]。

郷土に関連する事項として、放射線を取り上げることができれば、これらの学校でも「総合的な学習の時間」として取り上げられる可能性が高くなる。

放射線そのものを取り上げるのは難しいが、酒造のように産業の面から放射線を取り上げるのは、それほどでもないかと思われる。

酒造に関連する書籍を小中学生向けに解説した書籍を準備することができれば、社会教育のみでなく、総合的な学習の時間で郷土学習の一環として利用することも可能ではないかと考えられる。

（引用文献）

1）野白喜久雄、小崎道雄、好井久雄編「醸造学」p.34-37、東京：講談社サイエンティフィク、(1982)

2）農林水産省総合食料局　平成１５年産水稲の品種別作付状況（速報)、10月３日公表（2003）http://www.syokuryo.maff.go.jp/archives/data/sakutuke15103.pdf

3）農林水産省　農林水産省告示第 244 号、官報号外 36 号、3-35、平成 13 年 2 月 28 日

4）農林水産省　農林水産省告示第 919 号、官報号外 64 号、126-127、平成 14 年 3 月 29 日

5）農林水産省　農林水産省告示第 680 号、官報号外 83 号、2-7、平成 15 年 4 月 15 日

6）鳥山国士、角田公正、蓬原雄三、和田純二、藤村謙之輔、中堀登示光、水稲新品種「レイメイ」について、青森県農業試験場研究報告、12、6-17　(1967)

7）突然変異品種リスト、放射線育種場のあゆみ　-40 年を顧みて p.161、農林水産省農業生物資源研究所放射線育種場（2001）

8）戸田正行、羽田丈夫、酒井忠久、水稲新品種「美山錦」について、長野県農事試験場報告　43、1-7　(1984)

9）戸田正行、酒井忠久、羽田丈夫、堀内寿郎、村松幸夫、水稲新品種「しらかば錦」について、長野県農事試験場報告　43、19-24　(1984)

10）佐村董、角田和美、西田清数、山根国男、田渕満一、越生博次、酒米新品種「なだひかり」の育成について、兵庫県農業総合センター研究報告　26、1-8　(1977)

11）小野清治、三本弘乗、工藤哲夫、田名部嘉一、有馬喜代史、今井繁男、吉原雅彦、相馬幸穂、小田桐竹吉、水稲新品種「豊盃」について、青森県農業試験場研究報告、22、21-35　(1977)

12）田名部嘉一、山崎季好、工藤哲夫、高館正男、有馬喜代史、三上泰正、川村陽一、立田久善、吉原雅彦、浪岡　実、金澤俊光、小野清治、三本弘乗、水稲新品種「華吹雪」の育成、青森県農業試験場研究報告、30、19-29　(1987)

13）青森県農業試験場、大吟醸酒に向く酒造好適水稲新品種「青系酒 140 号」の育成、東北地域　新しい技術シリーズ平成 13 年度、独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構東北農業研究センタ

ー (http://tohoku.naro.affrc.go.jp/seika/j/singijutu/H13/suitou/seika715.pdf)
(参考：http://www.thr.mlit.go.jp/aomori/mitimiti/mitimiti2/2-4.html)
14) 西田清数、山根国男、佐村董、岩井正志、五百蔵義弘、須藤健一、曳野亥三夫、酒米新品種「兵系酒38号」の育成について、兵庫県農業総合センター研究報告　35、1-8　(1987)
15) 加藤武光、畠山俊彦、眞崎聡、水稲新品種「吟の精」の育成、秋田県農業試験場研究報告、34、1-20　(1994)
16) 佐々木行雄、石崎和彦、東　聡志、近藤　敬、阿部徳文、星　豊一、竹内　睦、小出　道雄、佐々木康之、星野　卓、矢野一成、池　善世、市川　儀夫、水稲酒造好適米新品種「一本〆」、新潟県農業試験場研究報告、42、23-32　(1996)
17) 櫻田博、佐藤晨一、菊地栄一、中場　勝、佐野智義、谷藤雄二、中場理恵子、黒木斌雄、横尾信彦、結城和博、後藤清三、山川　淳、酒米新品種「山形酒49号」の育成、山形県立農業試験場研究報告、30、1-15　(1996)
18) 山本朗、高橋眞二、杉山万里、重栖睦弘、岩本正俊、安部　浩、広沢敬之、神田正治、古山武夫、福田　誠、藤原耕治、門脇義行、水稲新品種‘神の舞’について、島根県農業試験場研究報告、32、35-50　(1999)
19) http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/RESULT/data_inada/h10/inada99002.html
20) http://www.pref.ishikawa.jp/noken/kakukahp/04ikusyu/hinsyu.html
21) 眞崎聡、加藤武光、畠山俊彦、松本眞一、川本朋彦、山本寅雄、嶽石　進、斎藤正一、福田兼四郎、嶋貫和夫、池田直美、水稲新品種「秋の精」の育成、秋田県農業試験場研究報告、40、23-43　(1999)
22) http://www.tokyo.brain.go.jp/shusi/seika/kakoumai.htm
23) http://www.tohoku-epco.co.jp/rdcenter/rd/re5_3.htm
24) 商標登録番号　第4290204号
25) http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/RESULT/data_tnaes/h10/tnaes98002.html
26) 「自社開発米で醸す」日本経済新聞　平成12年6月15日
27) http://www.tohoku.maff.go.jp/sr_miyagi/data/tohoku/meigara/jozou.htm
28) 商標登録番号　第4438106号
29) 商標登録番号　第4438105号
30) 商標登録番号　第4438104号
31) http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/RESULT/data_tnaes/h11/tnaes99007.html
32) http://tohoku.naro.affrc.go.jp/seika/j/singijutu/H12/seika652.html
33) 池上勝、世古晴美、吉田晋弥、酒米新品種「兵系酒６５号」と「兵系酒６６号」の育成、兵庫県農業技術センター研究報告（農業編）、50、13-24　(2002)
34) 溝渕正晃、山崎幸重、岩崎昭雄、中村幸生、亀島雅史、上東治彦、酒造好適米「風鳴子」の育成、高知農技セ研報、12、81-90　(2003)
35) 鵜飼保雄、突然変異育種法、農学大事典第2次増訂改版、農学大事典編集委員会編集、pp.1190-1194、東京：養賢堂　(1987)
36) 文部科学省　平成１４年度公立小・中学校における教育課程の編成状況等の調査結果について（概要）報道発表2月3日（2003)　http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/15/02/030202.htm

放射線教育 Radiation Education
Vol.7, No.1, p.53−58(2003)

わが国における放射線への恐怖感について

田中　隆一
理論放射線研究所
(227-0054 横浜市青葉区しらとり台 12-5)
（2004 年 3 月 5 日　受理）

[要約]
わが国における放射線・放射能についての誤解や偏見のベースとなっている恐怖感・不安感は伝統的な言語意識に深く影響されている。この意識は科学的合理性では説明し難い「言葉に宿る非合理なパワー」とでも譬えるしかない心理的作用によると考える。本稿では感情反応についての論及、言語伝達における非合理性、なぜ言葉に非合理性が宿るか、放射線についての非合理性の具体例、放射線教育における意義などについて述べる。

1．はじめに

放射線や原子力についての正当な理解を広く普及していく上での大きな障害として、放射線に対する感情反応がわが国では強いことがよく指摘される。この感情反応は放射線や原子力についての恐怖感として引き起こされ、往々にして嫌悪感あるいは拒絶感に示されるような積極的な反感へと深まる。また、恐怖感という強い反応には到らずに、漠とした不安感に止まる場合もある。

こうした放射線についての恐怖感や不安感が国民感情と言われるほど特別視されているのは、言うまでもなくわが国が原爆被災を経験しているからであるが、そうした感情の特質をよく考察してみると、古来受け継がれてきた伝統的な言語意識—言霊や穢れに象徴される—に深く影響されていることがわかる。この考察は『「放射線」に対する非合理的感情に関わる伝統文化の影響について』という表題で最近報告した[(1)]。ここでその報告の詳細を述べることは省略するが、この言語意識は科学的合理性では説明し難い、「言葉に宿る非合理的なパワー」とでも譬えるしかない心理的作用をもとにしており、これが合理的認識を覆い隠すほどの否定的な感情を無自覚的に人々の心に誘起すると考える。

もちろん、放射線に対する恐怖感や不安感には上記以外の様々な社会的、政治的な要因が影響していることも忘れてはならない。チェルノブイリ原子力発電所の事故やわが国の原子力施設における一連の不祥事による影響、放射線や核兵器に対する恐怖心を過大に煽る心理、低レベル放射線の健康影響に関する線形仮説、政治家、ニュースメディア、研究者等の利害意識、競合する産業界等のロビー活動なども指摘しておくことも必要である。ただし、わが国の場合、これらはベースとしての国民感情で

ある人々の恐怖や不安を増幅させてきた付加的な要因と見るのが妥当であろう。

2．感情反応への論及について

放射線教育に携わる多くの人々は、放射線についての正当な理解の普及における障害の背後に、上に述べたような人々の諸感情があることを認識してはいるが、解決するべき課題は障害となっている誤解や偏見であって、このために感情反応を掘り下げて論及することまで通常はしない。このことは、放射線教育に関心をもつグループが理系であり、感情反応の背景にある社会意識まで踏み込むに相応しい社会科学的な専門知識に乏しいことも一つの理由かもしれないが、科学技術と社会との関係を論じる場合、科学技術が依拠している理性の領域を越えて感情の領域まで論及するべきではないというより本質的な理由があるからではないだろうか。原子力推進派と言われる人たちのなかにおいても、反原子力の感情についてまで言及することには慎重な考え方が強い。世間一般の言い回しでいえば、人々の自然な心の動きを「逆なでする」、あるいは、その動きに「水をさす」ことになりかねないという配慮があるのではないかと思う。

また、放射線を怖がる心は、わざわざ広島や長崎のことを持ち出さなくとも、日本人誰もがもつ自然な感情であって、このことは相互に判り合っていることだから言わないのが当然であるという空気がある。不必要なものの省略を暗黙のルールとするのがわが国社会の慣わしではあるが、省略されたとしても消去できないまま無意識のなかに残るわけで、無自覚的に意識の底から湧き上がってきて、おもての言語意識を呪縛するのを防ぐすべはない。

確かに、その感情が特定の個人に関わるものと切り離すことができないような反感であるならば、その感情まで立ち入って考察することには慎重になるべきであるかもしれない。しかし、一般的に放射線に対する恐怖感とみなしているものは、個人的な体験がベースにはあっても、年月を経る過程で広く社会意識として形成され、集団として暗黙のうちに共有し合っている感情のことを指していると考える。したがって、そのように位置づけることのできる感情について論ずることまでも自己抑制する必要はないと考える。

3．言語伝達における非合理性について

正しい知識の普及においてよく問題となるのは、人々の心の中に放射線についての恐怖心が先行するために、有用な科学的常識でさえ記憶として定着しにくいと感じられていることである[(2)]。たとえば、放射線と放射能の違いは当分野の専門家にとっては力を込めて説くには及ばないほどの明々白々な基礎知識であるのに、懇切丁寧な説明に努めてはみても誤解と混同が依然として根強く、正しい科学的認識がなぜか定着しにくい。このことを多くの専門家が慨嘆している。この事態は科学的に理解する能力が人々に欠けていることを示しているのではもちろんない。筆者は放射線や放射

能という言葉そのものがたてまえとしての合理的認識を覆い隠すほどの否定的な感情を誘起するからであると考える。

多くの場合、放射線や放射能という見分けのつけにくい言葉の意味を科学的に判別するべきであると理性によって自ら言い聞かせてみても、否定的な感情が強いと科学的認識が心のなかに定着しにくいという事情があるのではないだろうか。その心理として、科学的常識からみると非合理と見なさざるを得ないような心的な力(パワー)がある種類の言葉の発声等に伴って無自覚的に働くからではないだろうか。科学技術の社会的受容において問題となる非合理性といっても様々な要因があると考えられるが、わが国の場合は言語伝達の無自覚な過程において非合理性の問題が介在する事例が特に多いと思う。

科学技術における言語伝達は、いうまでもなく言葉の意味を一義的にかつ正確に指示するという機能によって成り立つ。科学技術に携わる者はこうした機能を空気のように特に意識することなく使っている。一方、詩歌をはじめとする文芸では、日常言語でも同様かもしれないが、言語による伝達機能は多義的であり、個人の体験や民族、社会的集団の歴史によって異なる意味に拡散されていく機能が活かされる。これを科学技術言語における指示機能に対比して、それとは逆の内包機能ということができる。この内包機能は科学技術言語においては当然排除されなければならないが、「放射線」によって誘起される恐怖感のもとでは、言霊などに影響された「言葉に宿る非合理なパワー」のような独特の内包機能が、近代科学を支える合理精神の象徴的産物ともいえる科学の言葉に対してさえも、例外的に働くのではないかと考えられる。

こうした例外を持ち出すまでもなく、日本人は欧米や周辺の諸国と比べて独自性のある言語意識の世界に今日でも生きていると考えるべきである。わが国の社会が独特の言語意識を有する歴史的源泉は、少し唐突と感じられるかもしれないが、おそらく、遥か遠く日本列島に漢字が伝来される以前に、長期にわたって豊かに育まれた、神を偶像視しない口誦文化が存在したことにさかのぼると考えられる。

4．「放射線」になぜ非合理性が宿ったか

それでは、なぜ、「放射線・放射能」に「非合理なパワー」が宿ったかということであるが、直接的には原爆体験が社会に与えた強烈な衝撃に起因すると考えるほかない。あらゆる人知を超えた未曾有の破壊力が「放射線・放射能」という、えたいの知れない不可視の威力を伴って日本社会を襲ったのである。合理の限界を超えたパワーが社会に共有されている伝統的な言語意識を深く刺激したことは容易に想像される。

わが国のような多神教社会では、自然現象に対する畏怖や脅威からも「神」は自然発生的に生まれるが、古来、人知を超えた破壊力は激しい霊威を発揮して社会に災いをもたらす「荒振神(あらぶるかみ)」として怖れられた。「宗教」としてことさらに意識されるまでもなく、こうした破壊をも信仰と結び付けてしまうスタイルは日本人の心に自然に染み込み今日も生き残っていると考える。過去の歴史を見ると、代表的な

「荒振神」となった「天神」の場合、当初は不慮の死を遂げた菅原道真を祀る御霊信仰に結びついて、「祟り(たたり)神」として怖い威力を発揮した。しかし、後世になると、童謡「通りゃんせ」に歌われるように、天神さまはどこか怖いイメージを残しながらも「神神習合」(神仏習合ではない)を重ねた結果、福をもたらす学問の神様に変身あるいは習合したことで知られている。一つの譬え話としては、「放射線・放射能」はまだそうした変身あるいは習合を遂げることができず、いわば祟り神的存在として忌避や禁忌の対象にされたままの状態にあるのかもしれない。原子力発電所の施設の片隅には避雷の願いを込めて天神さまが祀られているが、実は互いに結ばれる可能性を秘めたもっと深い因縁を蔵しているのかもしれないなどと思い巡らすのは羽目を外した妄想だろうか。

謹厳なる科学者の方々はこうした譬え話を荒唐無稽なものとして一蹴するかもしれない。しかし、科学と「神話」は決して無縁なものとは思えない。原子力開発の草創期の話題として、手塚治虫の「鉄腕アトム」がよく引き合いに出される。当時におけるその人気の理由は、科学技術発展の想像力がフィクションによって効果的に刺激されたからであるかのように考える論者もいる。結果としてはその通りかもしれないが、実のところ、多くの読者は「アトム」に宿る科学的合理性に惹かれたのではなく、むしろ、当時は使い古されていなかった「アトム」という新鮮な言葉に宿る非日常的な神話性に惹かれたと考えるべきである。そこに「非合理なパワー」を感じることを通して深く広い共感を得るという心理が働いていることに着目するべきであると考える。「放射線」に宿る「非合理なパワー」は誤解と偏見を導く否定的な役割をもつが、「アトム」に宿る「非合理なパワー」は逆に共感という肯定的な役割をもった。言霊は善悪、美醜、清濁という正負どちらかの「価値パワー」を内包する場合が伝統的に多い。科学技術に関わる社会意識なのだから合理性や実証性の枠内だけで考えていればよい、という風にはいかないこともある。

5．「放射線」に宿る非合理性の例示

現代日本の政治・社会問題において言霊及び穢れの影響が顕著に現れていることを見事に指摘したのは作家の井沢元彦氏であるが、その内容は同氏の著書[3,4]に詳しく述べられている。一方、筆者が「放射線・放射能」に対する非合理的反応をも言霊及び穢れ意識の現れをみている実例は、

① 放射線と放射能についての根強い誤解や混同、
② 放射線、放射能、ゲンパツ、ヒバク、死の灰等の言葉が共有し合う穢れ感覚、
③ 放射能や放射線は極微量でも「いのち」を脅かすと感じること、
④ 人工放射線は自然放射線よりも危険であると感じること、
⑤ 放射線を照射したものは放射能を帯びると考えること、
⑥ 「放射線」や「原子力」の他の言葉への「言い換え」

などである[1)]。多くの実例で言霊と穢れの意識は分かち難く交じり合っているように

思われる。ここでは項目として列記するだけに止め、なぜ、言霊及び穢れ意識の現れを見なすかについての説明をここでは省かせていただく。

上記の実例は誤認識等の形をとって表れ出た非合理性であり、否定的な感情の強い影響下で具体的な認識の形をとるまでの心理的過程において伝統的な言語観が無自覚的に作用し、いくつかのパタン化された誤解や偏見が誘導されやすくするというメカニズムが想定される。

6．放射線教育における意義など

これまで述べたように、伝統文化に深く影響された否定的な感情というベースの上に放射線・放射能に関わる合理的認識を定着させることは、そういう感情からフリーな更地の上に定着させることに比べて面倒な困難が付きまとう。もちろん、伝統文化の影響があることをよく知ったからと言って、放射線に対するいわゆるアレルギーを治療する特効薬のような対策が見つかるわけではない。

しかし、伝統文化の影響を正しく認識することは放射線教育において意味のないことではないと考える。伝統文化の浸透度が浅い低学年の子供については、合理的認識を何もない更地の上に素直に組み立てるという教育方法がより適切であろうが、浸透度の進んだ学生や社会人に対しては、認識の非合理性に気づかせることを意図して根気よい対症療法的な取組みが有効である。あたりまえかもしれないが、人々は砂粒のようにバラバラの固体として社会的に存在しているわけではなく、無自覚ながらも伝統文化という「繭」にくるまって生きている。単純そうに見える誤解や偏見についても深い根っこがあることをよく認識したうえで、息の長い取組みが必要であろう。

もう一つは科学技術知識の普及と伝統文化の関係である。明治・大正時代や戦後の一時期に流行したいわゆる教養主義的な科学の啓蒙においては、伝統という概念はあたかも封建制度と同一視されて克服されるべき不合理性とみなされ、否定的な意味合いで扱われたことがある。近代西欧文明の進歩史観をなんの疑いもなくわが国に適用することが当然と考えての単純な発想であったが、わが国が一つの文明でもあるという独立性に気がつかざるを得なくなった今日では、この無鉄砲な先入観も過去のものとなりつつあると考える。

そういうわけで、放射線についての否定的な感情が伝統文化に影響されていることを指摘することを通して、科学技術を普及するうえで伝統文化が否定的な影響を与えていることをいわゆる科学啓蒙主義の立場で筆者は憂えているわけではない。わが国の置かれた厳しい状況を考えると、放射線についての誤解や偏見を克服することが大きな意義をもつと考えるからである。伝統文化の否定的な影響という側面のみと取り上げて、伝統文化それ自体に対して価値判断を加えるのは軽率である。むしろ逆に、伝統文化とは関わりの薄い科学技術に関わりながらも、伝統文化の底深さの一端を思い知ることを可能にする貴重な機縁と考えるべきではないだろうか。

参考文献

(1) 田中隆一　第 2 回 21 世紀連合シンポジウム―科学技術と人間―論文集　p379 (2003 年 11 月)
(2) 松田陽介　Isotope News 22, 3 (2002)
(3) 井沢元彦　『言霊』祥伝社（1991）
(4) 井沢元彦　『穢れと茶碗』祥伝社（1994）

放射線教育 Radiation Education
Vol. 7, No. 1, p. 59−68 (2003)

新聞報道にみる原子力：2001年4月～2003年12月

笹川澄子
（財）環境科学技術研究所
（〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村　e-mail: ssgw@ies.or.jp）

（2004年3月5日　受理）

［要　約］
2001年4月から2003年12月に青森県内で配布された新聞のうち入手できた朝日、東奥日報（朝刊）およびデーリー東北の3紙に掲載された原子力関連の記事を収集した。これに2002年1月から2003年12月に青森県内で配布された読売と毎日を加え、掲載された原子力関連の記事を収集した。それらを紙別にあるいは記事内容別に集計した。青森県内に特異的な内容に限定すると、カテゴリーとしては核燃料サイクル施設、国際熱核融合実験炉、使用済み核燃料中間貯蔵施設、東通原子力発電所に関連する記事に大別でき、その件数は、原子力事故や自治体首長の選挙など社会的政治的な出来事を反映して時系列的に推移した。この結果は予想されることではあったが、時として、副次的な記事も散見され、データベース化した記事は、原子力に関わる広報のあり方を考える上で有益な材料の一つとなり得る。また、「メディアリテラシー」に対する認識の必要を強調する上での資料にもなると考えられる。

はじめに

著者の所属する研究所では、朝日などの全国紙、東奥日報などの地方紙、電気新聞などの業界紙を購読し、掲載された原子力関連記事や地元六ヶ所村関連記事を掲示し所員に供覧している。それらを目にする度、記事の数の多さと内容の多様さに驚いてきた。平成13年4月に新たに広報・研究情報室が発足し、著者はそこに配属され広報を担当する立場となった。そこで、あらためて原子力関連の記事の数や内容等を一度分析して実態を確認したいと考えた。前報（1、2）で、原子力関連の記事の数や内容等を予備的に分析した結果を報告した。今回も予備的な段階を乗り越えることができていないが、2001年4月～12月（1）および2002年1月～12月（2）に2003年1月～12月を加え、2年9ヶ月間に収集したデータを概括した。特に青森県特有のカテゴリーに分類した結果を示したい。併せて、前報と同様に、メディア批判ではなく、むしろメディアがもたらす情報を取捨選択したりあるいは読み解いたりする能力「メディアリテラシー」を認識する必要と、メディアリテラシーを養っていく必要を強調したい。先輩諸氏の批判を仰ぐとともにご指導を賜ることができれば誠に幸いである。

方　法

対象新聞：青森県内で配布された新聞で、全国紙の朝日新聞（以下、朝日）、毎日新聞（以下、毎日）、読売新聞（以下、読売）の3紙、青森県の地方紙の東奥日報（以下、東奥）、

デーリー東北（以下、デリ）の2紙、計5紙を調査対象とした。青森県の地方紙として弘前地方を主な配布範囲としている陸奥新報は配布域外で通常の手段では入手できなかったため、そして、東奥の夕刊は入手できなかった時期があるため、対象に入れなかった。

収集期間：朝日、東奥、およびデリは2002（平成14）年1月1日から2003年12月31日まで、読売と毎日は2002年1月1日から2003年12月31日まで掲載された原子力関連記事を可能な限り収集した。

分類：今回は青森県に特有の事柄に着目し以下の5カテゴリーを設け分類した；

1. 六ヶ所村に立地する日本原燃株式会社（Japan Nuclear Fuel Limited）に関連するもの（JNFLと記す）
2. 青森県が誘致運動をしている国際熱核融合実験炉（International Thermonuclear Experimental Reactor）に関連するもの（ITERと記す）
3. むつ市が東京電力に誘致を呼びかけている使用済み核燃料中間貯蔵施設および旧原子力船「むつ」に関連するもの（MUTSUと記す）
4. 東北電力が建設を進めている東通原子力発電所に関連するもの（HIGASHIと記す）
5. その他、青森県内および国内の原子力問題に関連するもの、原子力や原子力政策に反対する政党や市民グループの活動に関連するもの、特集ものや記者や評論家あるいは専門家の論評記事および科学記事など（OTHERと記す）

なお、前報（1、2）と同様に、この分類は特に決められたものでなく、個人的趣向や偏見を排除できないこと等の問題があることを断っておきたい。

結果と考察

2001年（平成13年）4月から2003年（平成15年）12月までに収集した記事の月平均件数を新聞紙別、年別に図示した（図1）。3年間で、全国紙3紙では朝日がどの年も件数が多かった。また、後述するように、青森県特有の記事はどの紙も地方ページに掲載され、朝日は「青森」あるいは「第2青森」のページ、読売は「地域」のページ、毎日は「身近な話題地方のニュース」のページに掲載され、よほど大きな話題でない限り全国共通ページには扱われないと推察される。しかし、地方ページ以外に掲載され全国に共通する原子力の話題も多かった。地方紙2紙では東奥が多い傾向にあったが、記載内容を見る限り大きな差は感じられなかった。

新聞別の月平均件数の推移を図2-1～2-3に示した。東京電力の虚偽報告に関する2002年9月の突出が目立つ（図2-2）。その他、その時々の出来事を反映している（2）程度であり、地元特有の事柄になると地方紙の掲載が、全国共通の事柄になると全国紙の掲載が多くなる。新聞別にみても顕著な違いはみられない。全国紙よりも地方紙の方に掲載数が多い傾向があって、これは核燃料サイクル施設立地等を抱える県としては当然といえるかも知れない。

全記事のカテゴリー別の件数を月別に図示した（図3-1～3-3）。青森県に特有でない「OTHER」も3年間を通じてかなりあった。このカテゴリーには論評批評、市民団体、政党等々の反対派の活動、全国の原子力発電所の事故報告等々も含まれている。図3-2の9月の突出は東京電力の虚偽報告に関するものである。図3-1の2001年5、6月は、新潟県刈羽村で行われたプルサーマル導入の是非を問う住民投票に関連する記事が多かったこ

とを反映した。図 3-2 の 9 月の突出は東京電力の虚偽報告に関するものである。図 3-3 の前半は、前年の東京電力の影響で全国の原子力発電所の安全性に関する事柄と夏期の電力需要増大に対する危機（いわゆる電力危機）問題、新規原子力発電所立地の受け入れの是非論等々があった。

上記 5 カテゴリーから OTHER を除き青森県に特有の 4 カテゴリー（JNFL、ITER、HIGASHI、MUTSU）の件数の推移を図示した（図 4-1～4-3）。2001 年 6～7 月は国際熱核融合実験炉計画の国内候補地選定に関する記事が増えた。

2002 年 2 月にはいると MOX（日本原燃が建設を予定しているウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料加工工場の安全性検討に関する事柄）問題、使用済み核燃料一時貯蔵プール水漏れ問題で JNFL が増えた。5、6 月は青森県が誘致を進めていた ITER の国内候補地が国レベルで決定される直前にあったためにそれに関連する記事（カテゴリー ITER）が増えた。2003 年にはいると、これまでの年よりも少なく平穏に推移しているように見受けられたが、4～7 月はむつ市の使用済み核燃料中間貯蔵施設誘致とその賛否を巡る住民投票に関する記事、9 月はそれに密接に関連する 9 月のむつ市議会議員選挙に関係する記事が目立った。秋になると最終段階を迎えたと思われる東通原子力発電所に関連する漁業補償等の報道が増えた。12 月は ITER の誘致に関する政府間協議、地元の反応等々を報道する記事が増えた。

これまでの記事を概観して、著者なりに興味を覚えた記事がいくつかあった。例えば、2002 年 3 月 16 日の各紙には、ウラン濃縮工場の事業許可無効確認・取り消し訴訟に対する青森地裁の住民原告敗訴の判決に関連する記事が報道された。中でも毎日（2002 年 3 月 16 日 25 ページ、身近な話題　地域のニュース）の六ヶ所村核燃裁判関連年表は歴史的な経緯を改めて理解させるものであった。また、「原発用地買収」と偽った「被害者」の自作自演の短銃強盗事件（朝日、2002 年 12 月 6 日 35 ページ）は日本電源開発株式会社が原子力発電所を建設する計画を立てている大間町で発生した事件で、原子力と直接関係ないだけに、笑うに笑えない、むしろ哀れみに似たものをさそった。とはいうものの見過ごせない何かの兆候かもしれない（3）。むつ市の使用済み核燃料一時貯蔵施設誘致にからむ情報漏洩を報じた 2003 年 12 月の各紙一連の記事も、真偽の程は外からは知り得ないが、同様の世相を反映する社会事象といえるだろう。

その他、同じ事柄でも見出しの記述が新聞によって違い、例えば「核燃料」あるいは「燃料」と「核物質」、「MOX 加工」と「MOX 燃料加工」、「MOX 加工場」と「MOX 加工工場」、「再処理施設」と「再処理工場」、「廃棄物」と「放射性廃棄物」、「六ヶ所村」と「六ヶ所」、「原発解体」と「商用原発解体」、「原船むつ」と「旧原子力船むつ」などがあった。新聞各紙がそれぞれの特徴をだす工夫とはいえ、紛らわしさを感じた。また、JNFL 関連の記事で多用されていた「品質保証」と「健全性」は一般読者にとっては抽象的な表現に過ぎるのでは、という印象を持った。言葉遣いは注意を要すること（4）であり、特に専門家は用語や表現に配慮することも必要だと考える。これらの言葉を、例えば小学生にもわかるように、しかも字数を制限して分かりやすく解説することを課せられたら、どのように記述したらよいだろうか。外来語の日本語への言い換えのように、日常無意識に使っている外来語を、言い換えない方がイメージ的にも分かりやすい言葉もあるとはいえ、いざ地元住民の方々、種々の職種に就いている方々、主婦層、高齢者から若

い人たちにまでわかる日本語に言い換えるとしたら大変な能力と労力を要する作業になるだろう。原子力に関連する言葉や表現を各層の方々にわかる言葉や表現に言い換える作業も実に難しいが、必要なのである（5)。また、例えば、青森県と岩手県境に大量に不法投棄されその環境影響が大問題になっている産業廃棄物の大量不法投棄との関係で、「廃棄物」という記述は一瞬間違って受け取ってしまうような印象を受けた。一度記憶に刷り込まれるとそれを改めるのは容易ではない。

前報（1、2）の繰り返しになるが原子力関連記事の数と内容が事故、住民投票あるいは自治体首長選挙など社会的政治的な出来事に呼応して変化するのは、その度に議論される原子力利用に関わる「安全性」や「経済性」等の問題が、「科学技術」上の問題というよりもむしろ社会的経済的な問題として情報を発信する側も受け取る側も認識していることを反映しているからにほかならないだろう。しかし、技術の「安全性」に関する問題は、原子力に限らず、科学的にあるいは技術的に評価する性質のものである。このような点を考えると、議論の種となる問題を読者が判断しうる客観的な評価あるいは科学的技術的な評価を提供することも新聞報道の役割だといえる（6、7)。国民の知る権利にも応えることになる（8)。

一方、平成 13 年 5 月に行われた新潟県刈羽村の住民投票の結果は、従来の原子力広報のやり方に大きな疑問を投げかけた。広報あるいは放射線教育の本来の役割の 1 つは、新聞などのメディアがもたらす様々な情報を正しく理解し、その上で評価し取捨選択すること、つまりメディアリテラシーを地元住民はもちろん広く一般公衆に導きその能力を醸成していくことではないだろうか。これはメディアの特質や影響力に関する知識を習得することも含み、様々な研究や試行錯誤も要求される息の長い課題になるだろう。担当者にはそれなりの能力さらには資質といったものも要求されてくるかも知れない。21 世紀の広報あるいは放射線教育においては、科学リテラシーを一方の、メディアリテラシーをもう一方とする両輪に位置づけ、敢えてこの課題に挑戦し、その方向に自らの活動の価値を見いだすことが大切なのではないだろうか。

著者の所属する研究所では平成 13 年度から新規事業として「住民・専門家対話集会事業」（環境研出前講演会）を実施している（9、10、11)。この事業の企画立案を担当した者として事業を軌道に乗せるべく努力をし、その途中で、いくつかの経験をした。原子力というと鼻から毛嫌いされる、専門用語には困る、新聞に○○とでていたがこれはどういうことか、どういう意味か、○○については聞いたことがないがなぜ広く知らせないのか、等々。不特定の様々な人々に、時と場合と人によって適切に、問いに正しく分かりやすく応えるのは難しかった。広報を担当する者としてはもちろん、一般国民としても、健康で文化的な生活を得ようとする時、個人個人が、他人任せ行政任せでなく、物事あるいは社会事象に対して問題意識を持って観察したり考えたり、そして自分たちに関わる問題として勉強し冷静に判断することの必要性を痛感した。これは原子力に関連する科学リテラシーやメディアリテラシーに特化されるものではなく、食べ物、水、医療、環境汚染など今日のあらゆる分野に及ぶ、基本的な一般論でもある。

新聞はテレビ、ラジオ、雑誌等々のメディアの中でもテレビと二分して影響力があり、全世代を通じて高い支持を得、信頼度においてはテレビを上回っている（6)。また新聞は繰り返し好きな時にじっくり読むことができるという強い利点があり必要度も高い。逆に、

メディアとしてあるいはジャーナリズムとして責任もあることになる一方、読者としては事柄の取り上げられ方や記述等々を読み解く能力が求められることを強調したい。

著者は、青森県六ヶ所村の研究室で、地元で入手できる新聞から 2001 年 4 月から原子力関連の新聞記事に注目してきた。それらの数は膨大であり、内容も多岐にわたる。しかし、この期間を通じて、科学的な原子力そのものよりは、社会経済学的な原子力そして人文社会学的な原子力がむしろ問題であるようにみえてきた。これらは原子力を科学技術面からとらえるよりももっと難しく、ときとして人間の個人的内面にまで踏み込む課題でもあり得る。

発行された新聞は一般に縮刷版にされている。しかし、全ての紙が縮刷版にされるわけでなく、一部大手新聞に限られ、また地方版が縮刷版に組み入れられることもほとんどない。したがって、特定の地方の記事を後日入手しようとするとき、かなりの労力、時間、費用がかかることになるし、場合によっては入手できないこともあろう。そのような事情を踏まえ、個人的な資料ではあるが、約 3 年間収集してきた記事は一部データベース化した。この種の仕事は地道な作業が要求され特に目新しい発見や成果を作れるわけでもない。しかし、歴史が示すように、重要な事柄を期せずしてはらんでいたり、解析作業から意外な姿が見えてきたりする。今後の課題として、記事を収集しつつより大きなデータベースにし、それらを様々な角度から分析し、原子力に関わる「メディア／新聞研究」にできればよいと考えている。原子力に関わる広報のあり方を考える上での材料にもできればよいと考えている。先輩諸氏の批判を仰ぐとともにご指導を賜ることができれば幸甚である。

参考文献

1) 笹川澄子、新聞報道にみる原子力：予備的調査、放射線教育 5：27-34、2001
2) 笹川澄子、新聞報道にみる原子力：2002 年 1～12 月予備調査、放射線教育 6：15-20、2002
3) 地元記者報告、原子力施設立地地点、青森、暴力団関係者、大間原発用地の取得狙う？原子力 eye　49：82、2003
4) 柴田俊一、原子力船「むつ」の教訓、原子力 eye　49(2)：65、2003、2003 年 2 月号
5) 笹川澄子、放射線教育フォーラム勉強会に参加して、放射と産業 No.87：33-34、2000
6) 読売新聞（2002 年 10 月 12 日）、「新聞は必要」93%。信頼度　テレビに大差。本社全国世論調査
7) 朝日新聞（2003 年 1 月 8 日）、四半世紀の日本人。本社定期国民意識調査
8) 柴田俊一、先進国の原子力報道、原子力 eye　49(1)：37、2003、2003 年 1 月号
9) 環境研ニュース第 36 号 2002 年 2 月　短信「出前講演会」ご紹介 8 頁
10) 平成 13 年度環境科学技術研究所年報（99 ページ、第Ⅳ部広報普及活動第 2 章普及活動 3.出前講演会）
11) 平成 14 年度環境科学技術研究所年報 99 ページ（99 ページ、第Ⅳ部広報普及活動第 2 章普及活動 3.出前講演会）

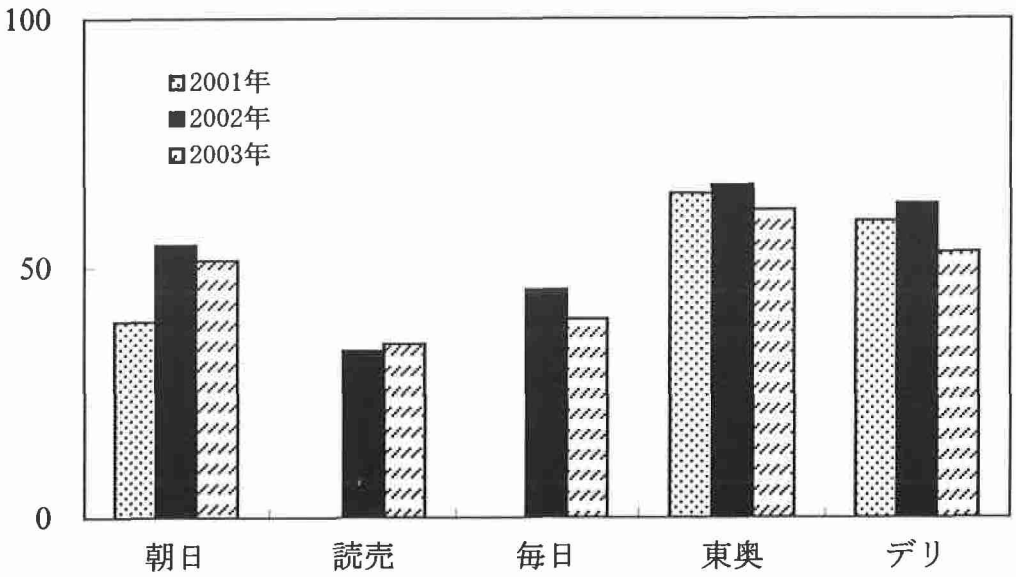


図 1.　2001～2003 年の新聞別の月平均記事件数．縦軸：件数、横軸：新聞

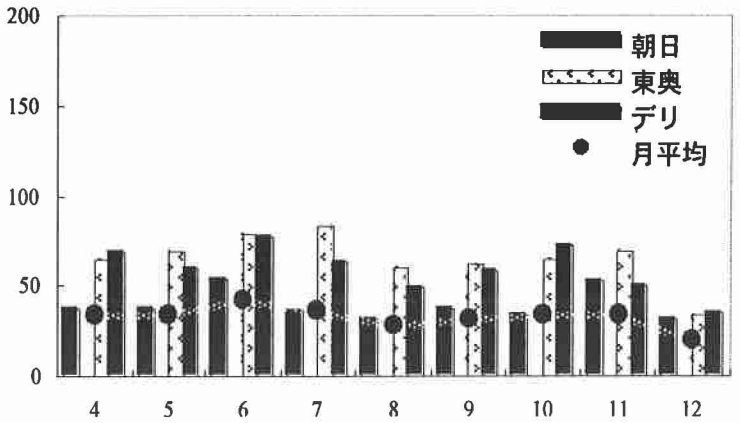


図 2-1. 2001 年の新聞別の月平均記事件数. 縦軸：件数、横軸：月

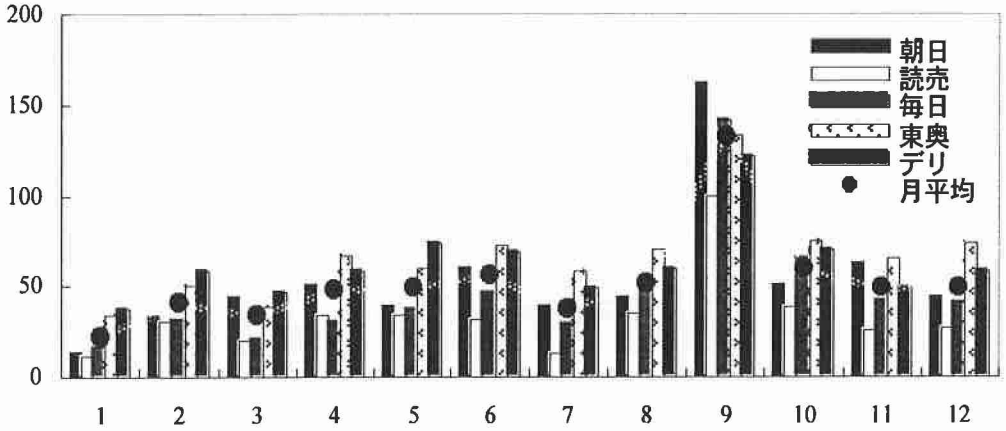


図 2-2. 2002 年の新聞別の月平均記事件数. 縦軸：件数、横軸：月

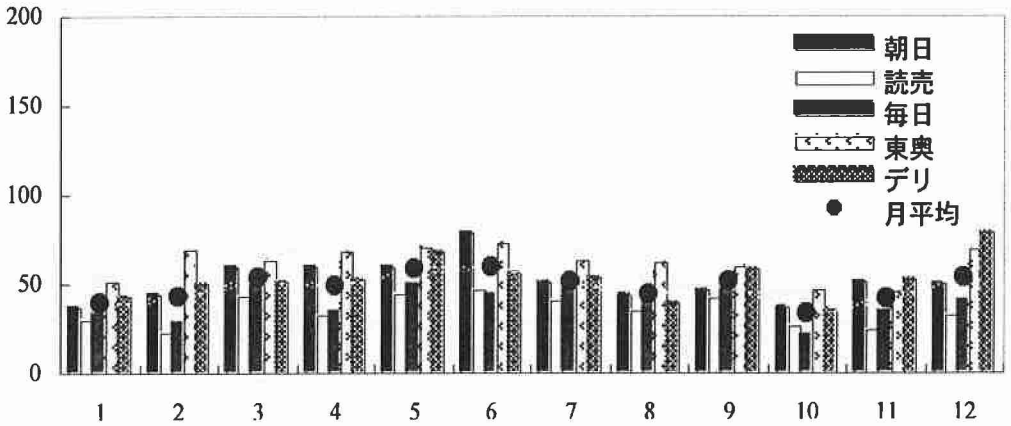


図 2-3. 2003 年の新聞別の月平均記事件数. 縦軸：件数、横軸：月

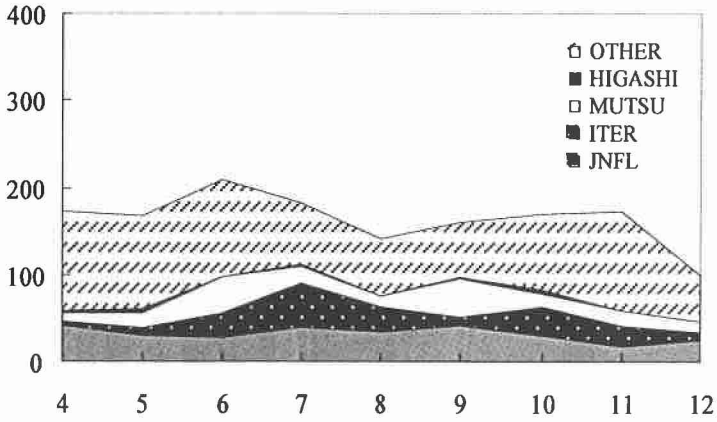


図 3-1. 2001 年のカテゴリー別記事件数. 縦軸：件数、横軸：月

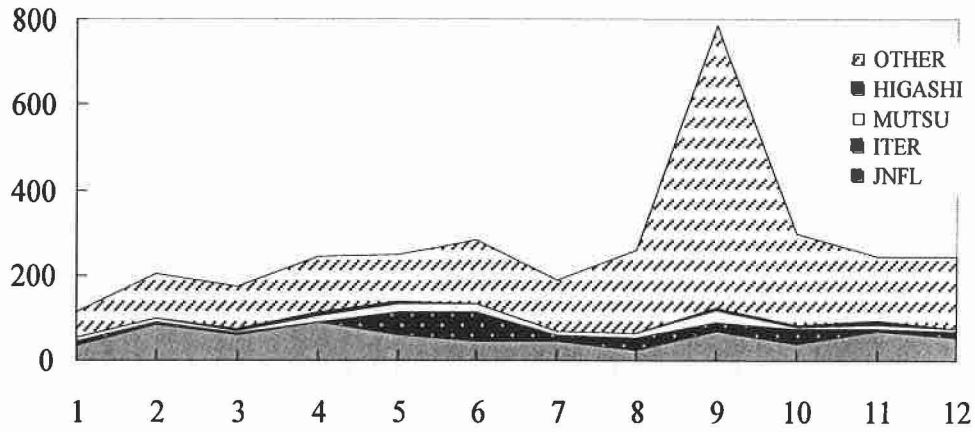


図 3-2. 2002 年のカテゴリー別記事件数. 縦軸：件数、横軸：月

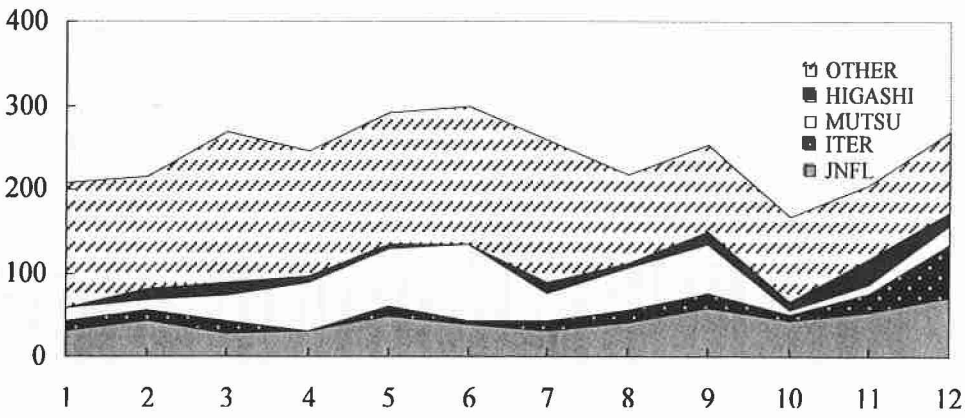


図 3-3. 2003 年のカテゴリー別記事件数. 縦軸：件数、横軸：月

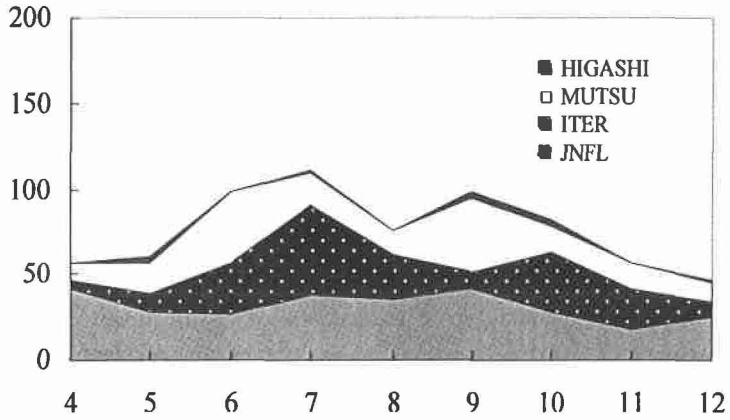


図 4-1. 20013 年のカテゴリー（除 OTHER）別記事件数. 縦軸：件数、横軸：月

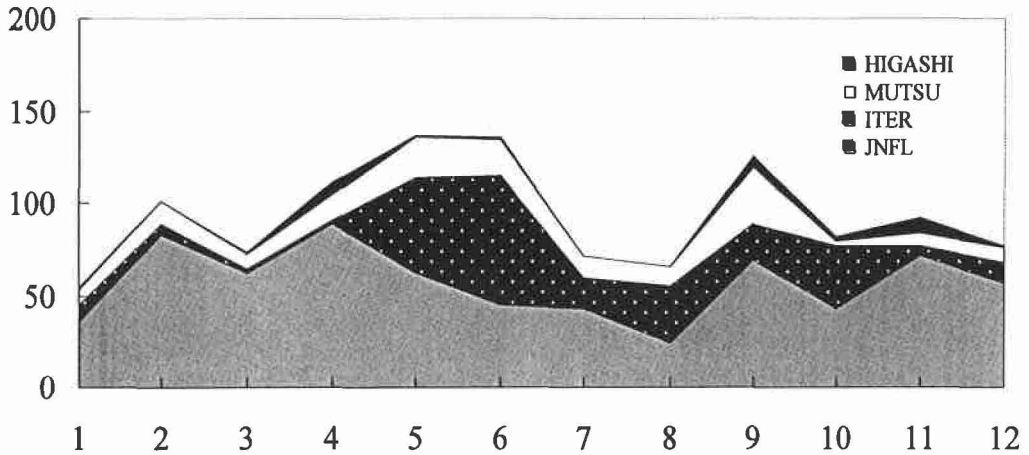


図 4-2. 2002 年のカテゴリー（除 OTHER）別記事件数. 縦軸：件数、横軸：月

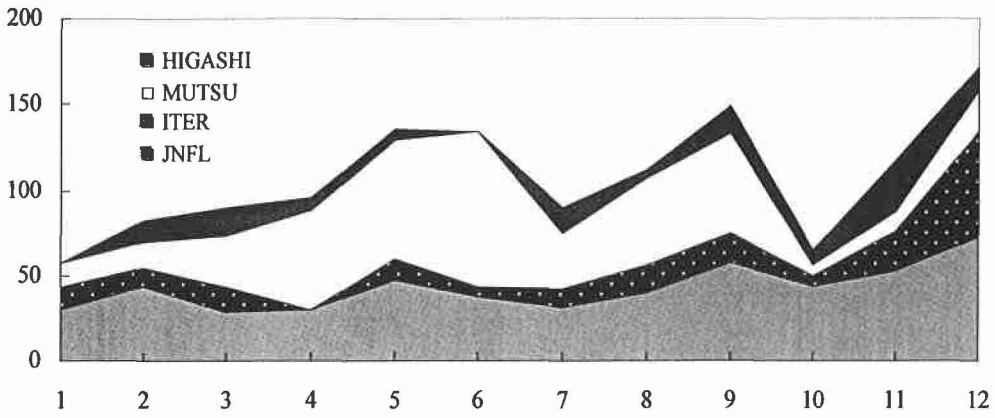


図 4-3. 2003 年のカテゴリー（除 OTHER）別記事件数。縦軸：件数、横軸：月

「放射線教育」投稿規定

2003.3.15

（1）掲載論文の種類

①投稿論文　　会員（または非会員）からの投稿論文
②依頼論文　　編集委員会が執筆を依頼した論文
③転載論文　　他誌からの転載で，編集委員会が必要な手続きをとるもの

（2）掲載する論文の内容

①放射線・放射能，およびこれに関連の深い事項(エネルギー，環境，リスクなど)に関するわかりやすい論説，解説
②放射線教育に関する実践報告，提案，批判など
③放射線教育に役立つと思われる論文・書籍などの紹介

（3）原稿の書き方

①原稿はそのまま印刷できるようにワードプロセッサーで作成する。
②用紙はA4，1ページに40字×40行，上下左右それぞれ30㎜を空ける。
③フォントは表題のみ16ポイント太字，その他（本文）10.5ポイント標準とする。
④1ページ目の第1行目に表題，2行目を空けて，3行目に氏名，4行目に所属，5行目にカッコ内に住所を書く。ここまでは各行の中央にそれぞれ記載する。
⑤6行目を空けて，7行目から[要約]（150－200字程度）をつける。
⑥原稿は原則として10ページ以内にまとめる。別刷り作成に便利なように偶数ページの原稿として下さい。
⑦使用言語は日本語とする。

（4）掲載までの手順

編集委員会は，査読者に査読を依頼し，著者に修正を求めたり，掲載を断ったりすることもある

（5）論文の版権

掲載された論文の版権は放射線教育フォーラムに属するが，論文内容についての責任は著者にあるものとする

（6）原稿の送付

そのまま印刷される図表つきの原稿本文を下記あて送付する。またフロッピーの同封，もしくは編集委員あてE-mailによる本文の送付を歓迎する。毎年1月31日をその年度の締切としています。

（送付先）〒100-0013　東京都千代田区霞ヶ関3-3-1　尚友会館B1F
放射線教育フォーラム編集委員会
（封筒に「放射線教育投稿原稿」と朱書する）

【編集後記】

放射線は宇宙創世時から存在し、発見されてからは身近なものにまで利用されるようになりました。また、20世紀に得られた自然科学の知識の多くは放射線を抜きに語ることはできないかと思います。

「理屈と膏薬はどこにでもつく」といいますが、案外「放射線」も、理屈のごとく様々な事象にくっつけて話せるものなのかもしれません。放射線に関連した知識について詳しく調べてみると、一見放射線とは縁もゆかりもなさそうな事象が、実は関連していたということも結構あります。放射線という言葉をきっかけに自らの知的好奇心を、際限なく広げていくこともできるのではないかと思われます。

今回も皆様の御協力により、放射線に関わる論文が多数集まりました。

論語に「之を知る者は、之を好む者に如かず。 之を好む者は、之を楽しむ者に如かず」とありますが、この論文が皆様の放射線教育に関わる知識を増やし役立てるだけではなく、放射線という文化を楽しむ素となれば幸いです。

来年度から投稿しやすくなるように、委員会では、規定変更の検討をしています。会員の皆様から放射線教育に関する活発な御投稿を、心よりお待ちしております。

(坂内　忠明)

放射線教育　Vol. 7, No. 1 (2003)

発行日　2004年3月

発行者　NPO法人放射線教育フォーラム（会長　有馬朗人）
URL ： http://www.ref.or.jp

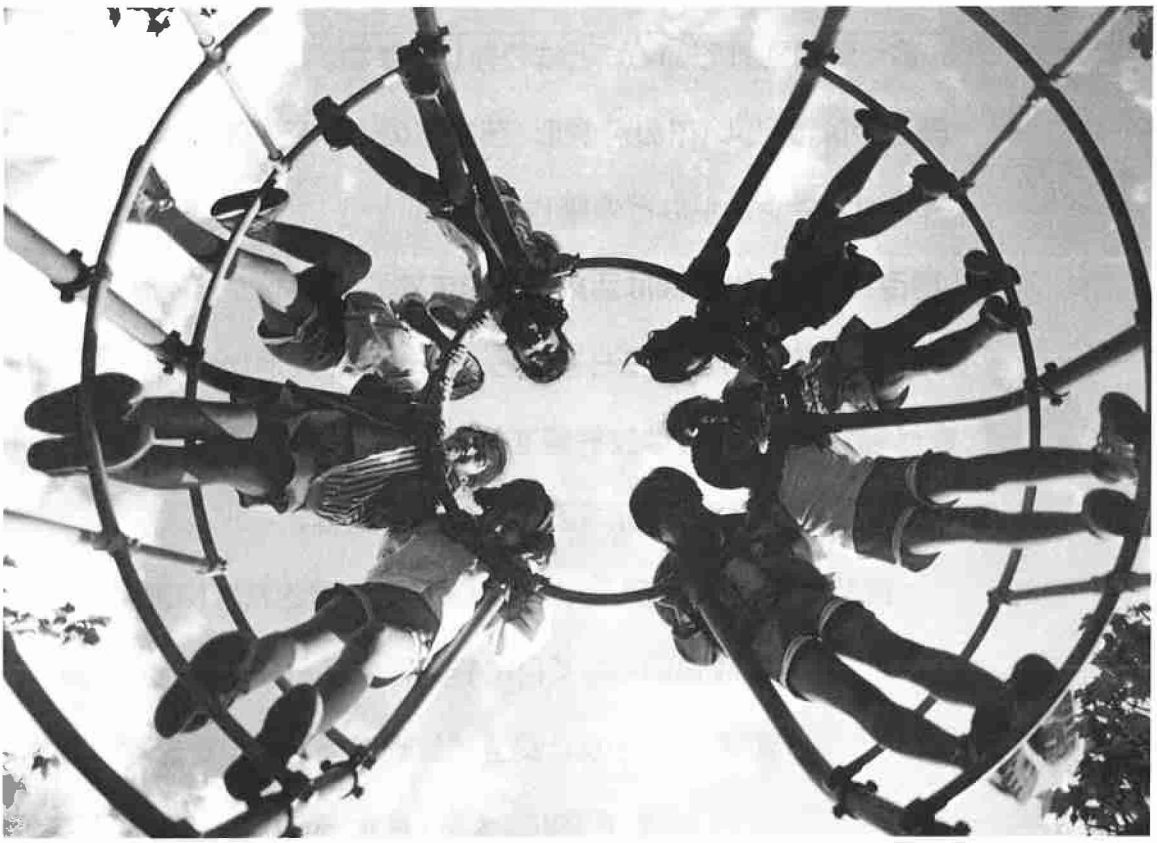
編集者　放射線教育フォーラム編集委員会
大橋國雄（委員長、千葉大学名誉教授）、
坂内忠明（副委員長、放射線医学総合研究所）、
今村　昌（理化学研究所名誉研究員）、大野新一（理論放射線研究所）、
菊池文誠（東海大理学部）、小高正敬（若狭湾エネルギー研究センター）
村主　進（原子力システム研究懇談会）、堀内公子（大妻女子大学）、
村石幸正（東大教育学部附属中等教育学校）

事務局　〒100-0013　東京都千代田区霞ヶ関　3－3－1　尚友会館 B1F
放射線教育フォーラム
Tel ：　03 - 3591 - 5366,　Fax ：03 - 3591 - 5367
E-mail ： mt01-ref@kt.rim.or.jp

Japan Association for Promotion
of Science Education and Equipment

明日の地球を担うサイエンティストたち

みんなの好奇心を応援します。



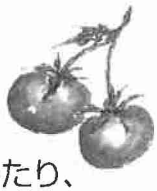
(社)日本理科教育振興協会は，学校教育用理科機器・算数数学機器およびそれらの関連教材の健全な発達と普及を図り，わが国の学校理科教育の振興に寄与する事を目的とする，文部科学省主管の公益法人です。会員数は全国約2,000社，文部科学省委託事業をはじめ各種展示会・講習会等，教育用理科機器の普及・啓発に関する幅広い活動を行っています。

協会証紙のついた製品の品質はメーカー保証に併せ，さらに協会の保証が約束されております。理化学機器のご購入にあたっては，信頼ある理振協会会員へご用命下さい

社団法人 日本理科教育振興協会

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-26(山本ビル3F)
TEL. 03-3294-0715 FAX. 03-3294-0716
URL：http:/www.vinet.or.jp/japse

花をもっと美しく…
野菜をもっとおいしく…育てるために、
放射線が利用されています。



放射線が、レントゲン撮影をはじめ医療の分野で
広く活用されていることはご存じですね。
最近では、新しい花の色や形、花持ちのよい品種を開発したり、
トマトやイネやムギなどの農作物の
品種改良にも、放射線は活躍しています。

実は、放射線は自然界にも存在し、空気から、大地から、
食べ物から、私たちは放射線を受けて生活しているのです。
そして、原子力発電所周辺の放射線の量は、
自然放射線より低い値になるように管理されています。
放射線は匂いもなく目にも見えませんが、
測定できるので安全に管理することができるのです。
定期的に、大気・海水・河川水・土壌などを分析し、
きびしくチェックしています。

原子力発電への
ご質問や広告への
ご意見などを
お待ちしています。
お寄せ下さった方全員に
素敵な小冊子
「エネルギーからあなたへ」を
差し上げます。さらに
「図書カード」を
先着30名様にプレゼントします。

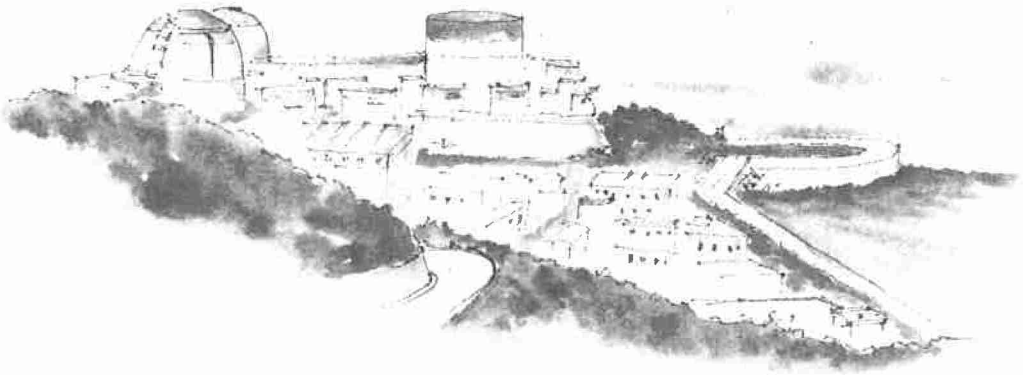
ハガキに住所、氏名、年齢を
お書きの上、下記宛先までお送り下さい。
(平成16年3月22日消印有効)
〒100-8118 東京都千代田区大手町1-9-4
電気事業連合会 広報部「卿人公論」係まで

"電気のつくり方"や…
日本の電気の約1/3をささえている"原子力発電"について…
もっと知りたい方へ「小冊子」を差し上げます。

ホームページにもぜひアクセスを…
http://www.fepc.or.jp/

全国10の電力会社でつくる
電気事業連合会

エネルギーから
あなたへ



放射線は自然界にも存在し…
原子力発電所周辺の放射線の量は、
それよりも低い値に管理されています。

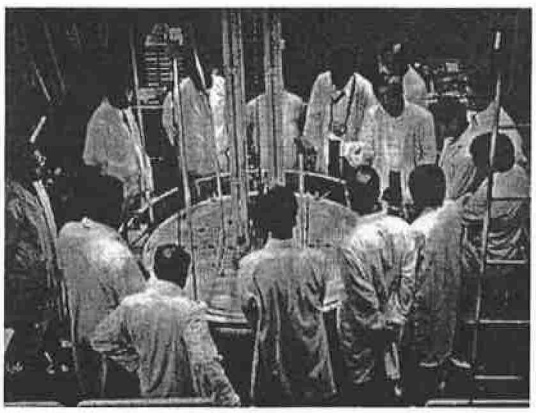
原子力・放射線をテーマに
資源・エネルギー・環境教育の教材を提供・・・
見て、聞いて、触れて、考える、教員のための研修

文部科学省受託事業

原子力体験セミナー

本セミナーは国の原子力総合研究機関である日本原子力研究所を主会場として全国の先生方を対象に実施するコースと、全国各地に講師陣が出張して1～2日間で実施する「地域コース」・「文系コース」から成り立っており、内容は、講義、実験・実習、施設見学等を柱に、理科系の専門的な科学的知識の取得を目的としたコースから、資源・エネルギー・環境・防災教育といった「総合的な学習の時間」等へもお役立ていただける内容のコースまで、担当教科や興味・関心に応じてご参加いただける講座と教材を幅広く提供しています。

ここでの体験や専門家との触れ合いから、21世紀を担う児童・生徒たちにとって魅力ある教育を探っていただければ幸いです。



●参加資格：主として小・中・高等学校の教職員及びこれらに準ずる教育関係者
●参加費用：セミナーの参加に要する旅費、宿泊費（対象者）並びに実習教材費、
テキスト代等は主催者が負担します。
●セミナーの予定やカリキュラムの詳細については下記にお問い合わせ下さい

RADA
RADIATION APPLICATION DEVELOPMENT ASSOCIATION

財団法人 放射線利用振興協会
国際原子力技術協力センター　国内研修部
〒319-1106　茨城県那珂郡東海村白方白根2－4
Tel　029(282)6884　　Fax　029(282)6731
ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞ：http://www.rada.or.jp　　E-mail：taiken@popx.tokai.jaeri.go.jp

原子力図書館 げんしろう

http://mext-atm.jst.go.jp

解説や論文、クイズ、最新動向など
原子力に関する情報がギッシリ!!

原子力百科事典 ATOMICA

収録数2,300件を超すデータベース形式の百科事典です。世界の原子力や放射線など最新情報を豊富な図版とともにていねいに解説します。

文献データベース NUCLEN

一般から専門家にも役立つ収録数58万件を超す文献データベースです。世界中の原子力やエネルギー関係の文献に日本語の要約をつけてわかりやすくしています。

君は、どこからチャレンジする? げんしろうクイズ

エネルギー、環境、原子力、放射線をテーマに小・中学校生でも楽しめるクイズです。子供達の学習に活用できるコーナーです。

原子力の今を知りたい方をサポート

原子力の最新動向

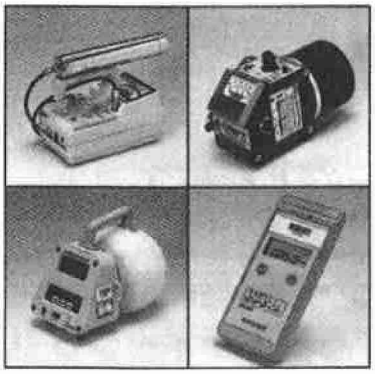
- ●原子力委員会
  我が国の原子力政策がわかる原子力委員会や専門部会の動きを知ることができます。
- ●原子力安全委員会 ●トピックス
- ●イベント情報

(原子力委員会、原子力安全委員会は内閣府からのリンクで掲載しています。)

独立行政法人
科学技術振興機構
受託出版課 ☎03-5210-4962

放射線測定の信頼性向上に

ー作業環境の安全確保にー



JCSS 認定事業者　作業環境測定機関

業務内容

★放射線測定器の点検校正
★放射線測定器の特性試験
★放射線測定器の基準照射
★放射線計測技術の調査及び試験研究
★作業環境測定
★放射線(能)測定
★「はかるくん」無料貸出
★原子力関係要員の研修

放計協

財団法人 放射線計測協会

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4（日本原子力研究所内）

http://www.irm.or.jp/　TEL.029-282-5546　FAX.029-283-2157

社団法人 日本電気協会
JAPAN ELECTRIC ASSOCIATION

日本電気協会は大正10年に設立された、日本で唯一の電気関係総合団体です
電気の生産から消費に関わる幅広い会員を有し、電気関係事業の健全なる発展に寄与しております

電気の今を学ぶために

あなたの知りたいこと
ー電気事業について44の質問と答ー
本体価格420円＋消費税21円 送料290円 A5判・150頁
一般社会人，学生などを対象に，電気の生産，供給をになう電気事業者(電力会社等)の今日のありのままの姿や当面する諸問題について知っていただくために，Q&A方式で図表を多く取り入れ，わかりやすく説明しています

東海林のり子の
電気事故リポート
ー突然の災害から身を守るためにー
本体価格28,572円＋消費税1,428円 VHS・18分
災害が起こった時，あなたは冷静に対処できますか？このビデオは，災害で起こる電気事故から日常生活まで，家庭で必要な電気安全知識をわかりやすく紹介しています。テレビでおなじみの東海林のり子さんがリポートします！

他にも多数の電気関係書籍・ビデオを発行しております

お問い合わせは 出版部 03ー4283ー2002
または下記ウェブサイトから！

電気の今を知るために

電気新聞は電力，電機，情報通信分野における日刊専門紙です
原子力関係も最新のニュースを提供しています

購読のお申し込みは 新聞部 フリーダイヤル 0120ー39ー1551
または下記ウェブサイトから！

購読料
1ヶ月 3,990円
（本体価格3,800円＋消費税190円）

www.denki.or.jp

ガラス線量計小型素子システム

Dose Ace

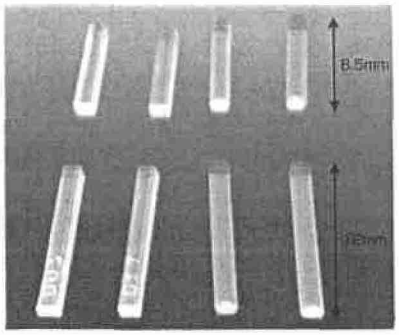
ドーズエース

新成形法による超小型素子が
線量測定を革新！

特徴

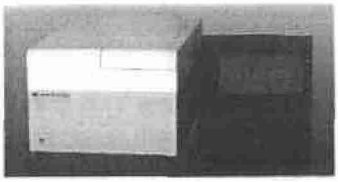
- 繰り返し読取り可能
- ガラスの均一性が素子間のばらつきを僅少に、安定した測定が可能
- 低線量域から高線量域まで、広範囲を高精度で測定可能
- 超小型素子により、治療・診断線量の直接測定が可能
- リーダの操作は非常に簡単で、一度に20個までの連続読取りが可能

線量計素子GD-300シリーズ



GD-301 φ1.5×8.5mm
GD-302 φ1.5×12mm（ID付）

専用リーダFGD-1000



主な用途

- 診断・治療線量評価
- 動物実験での線量評価
- 微細な線量分布測定
- その他　各種実験

www.c-technol.co.jp

TECHNOL
CHIYODA TECHNOL CORPORATION

最寄りの営業所へお気軽にお電話下さい。
営業所 東京03-3816-2931／横浜045-821-6031　茨城029-266-3111／筑波0298-34-2231　大宮048-667-4412
千葉043-241-9261／仙台022-224-1113／郡山0240-22-5541／新潟0257-22-3334／札幌011-733-1501
青森0175-72-3730／大阪06-6369-1565／名古屋052-331-3168／敦賀0770-23-3466／静岡0537-35-8566
金沢076-231-6789／福岡092-262-2233／亀裂0852-22-0291／四国0894-24-4072
広島082-261-8401／大洗研究所029-266-3113

株式会社千代田テクノル営業部
〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル
TEL03(3816)1163　FAX03(5803)1939

三菱重工

地球の熱さまし。
温暖化による“発熱”によく効きます。

いま、地球が“温暖化”という病気にかかりかけています。早めに治すには、省エネルギーや新エネルギーとともに、CO_2を排出しない原子力がよく効きます。美しい地球を健康のまま21世紀にのこすために、私たちは、これからも安全で信頼できる原子力発電プラントを提供してまいります。

STOP! 温暖化

三菱PWR原子力発電プラント

三菱重工業株式会社

本社　原子力事業本部・鉄構建設事業本部　〒108-8215　東京都港区港南2-16-5　☎(03) 6716-3111
支社　関西／中部／九州／北海道／中国／東北／北陸／四国

月刊エネルギー

フジサンケイグループ

立地地域の人たちや一般の人々に、

放射線をはじめ、原子力のリスクを正しく伝え、

積極的にリスクコミュニケーションをしませんか。

月刊エネルギーは、そのお手伝いをします。

※ エネルギー教育、リスクコミュニケーションに
関するいろいろな情報をお寄せください。

日本工業新聞社月刊エネルギー編集部

energy@business-i.jp

電話　03－3273－6122

＊好評発売中＊

放射線と地球環境

――生態系への影響を考える――

村松康行・土居雅広・吉田聡編／B５判／
カラー含む 240 頁／税込み定価 3990 円

紫外線等の天然放射線、原子力・医療機器利用による人工放射線が生態系・人体に及ぼす影響と防護法について最新の研究をもとに解説。さらに放射線により体内で発生する活性酸素の話題から、化学物質との複合影響についても考察する。

放射能と人体

――くらしの中の放射線――

渡利一夫・稲葉次郎編／A５判／
124 頁／税込み定価 1680 円

医療をはじめ、くらしの中にある放射線・放射能についての基本知識から、これまでに明らかになった人体影響、事故事例、そして放射能漏れなどによる緊急時の体内の放射性物質の除去法、被曝被害を少なくするコツや簡易放射線測定法も解説。

放射性元素物語

松浦辰男著／B６判／156 頁／
税込み定価 1223 円

放射能漏れ事故が起こるたび話題になる放射線・放射能は多くの人に不安を与える。その元である放射性元素とその周辺のことについてあまり世間に知られていないこと、本当はどうか……等、専門家以外には言い控えてきたことも述べる。

〒103-0084 東京都中央区日本橋蠣殻町１－６－４ 研成社 電話：03-3669-1828／ＦＡＸ：03-3669-1850

国際会議
（準備・運営）
BILINGUAL GROUP
通訳、翻訳
25カ国語対応

「ビキニの写真」

女性の水着姿？　違うのです。私が中学に入学したころですから、四十五年以上も前に、第五福竜丸という漁船が南太平洋で、ビキニ環礁の水爆実験の灰を浴びて被曝（ひばく）しました。これによって、日本人の核に対する反感は最高潮に達した観がありました。以来およそ半世紀。各国のエゴによる核実験はいまだに終息せず、最近は核保有国数の増加も憂慮されて、心中穏やかでいられません。

しかし他国の人々は、核兵器をさほど深刻に憂えていない可能性があります。原爆の惨禍は、いまやニューヨークの9・11に並ぶだけの衝撃波を発信し得ないでいるのが実情でしょう。

以前、西ドイツに住んでいたころ、子供の遊び仲間のお宅へ、おやつに招かれたことがあります。美しいレースのカーテンが窓辺に波打つダイニングルームに通されたとき、私は息をのんで立ちすくみました、白い壁に掛けられていた額の中に赤々と燃えていたのは、何と水爆のきのこ雲だったのです。よく見ればなるほど、ビキニ環礁らしいその写真は、オレンジ色のあやしい輝きをたたえ、シンメトリックに広がる傘は雄大でさえあります。しかしいくらなんでも壁に飾るなんて！　手作りのケーキをごちそうになり、子供たちの無邪気な遊びを眺めながら、私の心はビキニの写真にこだわっていました。

二時間ほどがすぎて帰り支度を始めたころ、私は何げなく聞いてみました。「どうしてこれを飾っているのですか？」。若いお母さんはちょっと困った様子で、夫が原子力研究所勤めで、この写真を見つけたので、拡大してフレームに入れたのです、と説明してから、「でも、飾り物としてはあまり良くないですね」とすまなそうに付け足しました。私は長崎の出身であることを告げて、そそくさと帰宅しました。

二、三カ月して、また呼ばれたので行ってみると、ビキニの写真は木彫品に置き換えられており、私は胸をなで下ろしたのでした。ドイツ人夫妻は反省したのです。やれやれ。

株式会社　バイリンガル・グループ
〒102-0074　東京都千代田区九段南 4-7-22-2F
取締役社長 郷農 彬子　http://www.bilingualgroup.co.jp　TEL:(03)3263-1261(代)　FAX:(03)3263-1264(代)

各省庁研究費公募及び配分、内容等も紹介

我が国唯一の基礎科学専門紙

研究助成団体の募集及び結果

文部科学省等の情報

教授人事、国際会議派遣、大学ニュース、研究成果など

海外科学ニュース

海外雑誌を航空便で取り寄せ翻訳速報

その他の主な内容

人物紹介、海外出張者、国内科学ニュースダイジェスト、
学協会行事、科学雑誌・学協会誌目次総覧、外国雑誌、
新刊案内、書評、新製品紹介、研究所紹介、科学読物、
教授・助教授等公募、科学者が語る自伝

科学新聞
週刊（金曜日発行）

1カ月　1,835円
6カ月　9,700円（前納）
1カ年　18,350円（前納）
（送料・消費税込）

科学・技術・医学用語など69万語の辞書を装備！！
米国商務省・日英科学文献機械翻訳センターで採用！　文部科学省・科学技術振興調整費による成果！

パソコン用ソフト　**科学と技術の翻訳パートナー**　－日英－ Ver1.1
Windows版（バージョンアップ版）―― 定価（本体　95,000円＋税　買換価格20,000円＋税）
Macintosh版―――――――― 定価（本体120,000円＋税）
（CD-ROM1枚、ユーザーズ・マニュアル1冊）

科学新聞社
東京都港区浜松町1－8－1（〒105-0013）
TEL 03-3434-3741㈹　FAX 03-3434-3745
http://www.sci-news.co.jp

資源・エネルギー・原子力・環境について
知りたいこと、疑問に思うことはありませんか?

①「**エネルギーと環境**」**講座**では、学校の先生方に最新の情報を提供しています。

②10月26日の「原子力の日」を記念して、**中学生や高校生から作文・論文を募集**し、入選者を表彰式と施設見学会にご招待します。

③高校生を対象に**放射線実習セミナー**を開催し、放射線に関する基礎的知識を講義と実習を通じて習得できるように、お手伝いします。

④先生方の研究会や勉強会に**講師を派遣**したり、発電所などの**施設見学会の開催**をお手伝いします。

⑤エネルギー、原子力などに関する、**ビデオや写真を貸し出し**ています。

- 講師派遣などの経費は無料です。
- お問合せは、電話、ＦＡＸ、または手紙でお願いします。

財団法人日本原子力文化振興財団

〒103-0012　東京都中央区日本橋堀留町 2-8-4　　Tel：03-5651-1570　Fax：03-3639-6636