



Photo H.fukuda

Index

迎春のごあいさつ.....	細田 敏和	1
学協会の倫理規程とは -日本原子力学会倫理規程を例として-.....	班目 春樹	2
原子力分野におけるファントム利用の現状と標準化に向けての課題...	栗原 治	7
創造とチャレンジ.....	町 末男	12
五感に訴えない放射線のニュースをオオトリの六感で捉えるカレント・トピックス “茹で蛙”と異常気象	鴻 知己	12
化学イオン化質量分析法による大気硝酸の測定 —清浄なイオン源としての放射線源の重要性—	近藤 豊、北 和之、森野 悠	13
[加藤和明の放射線一口講義] 内部被曝と滞留関数.....	加藤 和明	18
[サービス部門からのお知らせ] ガラスバッジの名前の変更依頼はどうするの?		19

迎春の



ごあいさつ



株式会社 **千代田テクノル**

代表取締役社長 細田 敏和

新年あけましておめでとうございます。

皆様にはお健やかに新年をお迎えのこととお喜び申し上げます。

昨年は、IAEA（国際原子力機関）が実施した個人線量計の相互比較試験において、弊社のガラスバッジ・ワイドレンジニューピットバッジは最優秀の成績を収めることができました。これはひとえに皆様のご支援ご指導の賜ものと深く感謝いたします。

本年は、「フィルムバッジ」から「ガラスバッジ」に全面的に切換えを致しましてから5年間が経過致しました。継続的な改善により、皆様に最高で最適な商品・サービスを提供してまいります。また、放射線安全管理総合情報誌「FB News」を通じて、皆様の放射線管理に役立つ様々な情報をご提供してまいります。どうぞご期待ください。

今年も変わらませぬご愛顧とご援助を賜りますよう、どうぞよろしくお願い申し上げます。

取締役副社長	黒川 英明
専務取締役	岡本 潔
常務取締役	本圖 和夫
常務取締役	竹内 宣博
常務取締役	山田 昌夫
取締役	鍋谷 幹二
取締役	佐々木行忠
取締役	福寺 裕二
監査役	石山 靖彦

学協会の倫理規程とは

—日本原子力学会倫理規程を例として—



班目 春樹*

1. はじめに

技術者の倫理が問題となっている。昔の職人には、倫理などを口にするのはうさん臭い、言葉で勝負するのではなく製品で勝負すればいい、といった考えがあった。しかし複雑な現代社会では、技術者は巨大システムのごく一部の設計・製作・運転・保守を担当する。それぞれの技術者全員がきちんとした仕事をしなければ、システムは動かない。場合によっては公衆に被害を与えることになる。公衆が安心して生活するためには、技術者が信頼できなければならない。ものを言わない集団は不気味である。何を考えているのか、どのような規律のもとに仕事をしているのか、技術者がそれを口に出すことが大切である。

多くの会社は社員が守るべき倫理規程を定めている。それは社員が仕事をする上での規律であり、また社会に対する約束である。同じ会社に属しているという運命共同体としてこれは必要である。学協会はどうか。数年前までは倫理規程を定めている学協会は非常にわずかであった。しかし原子力技術者なら原子力技術者の、土木技術者なら土木技術者の守るべき規範というものは存在する。原子力技術者という集団全体が信頼されなければ原子力技術そのものが信頼を失う。学協会が倫理規程を定めるのもそこに属する集団が運命共同体であるか

らである。

日本原子力学会では2001年に初めて倫理規程を制定して以来、定常的に見直し作業を続けている。制定自体はそれほど早くないが、取り組み姿勢の熱心さは群を抜いているといえる。例えば、倫理規程は前文と憲章のほかに行動の手引がつけられており、6～7ページにも及ぶ長いものである。さらに、「規範は時代ともに変化することも念頭に置き、我々は本倫理規程を見直していくことを約束」(行動の手引)し、実行している。2003年に最初の改訂を実施し、今回第2回の改訂が終了したところである。これを担当する倫理委員会では、委員が持ち寄った改訂提案や、会員や一般の方から寄せられた意見をもとに、20回ものアンケートを委員間で繰り返し、案を磨き上げた。さらにそれを公衆審査に掛け、頂いた意見への回答をまとめるためさらに何回ものアンケートが行われた。アンケートを作ったほうも作ったほうだが、多いときは30項目を超えるアンケートに必ず回答する委員もたいしたものだと思う。以下ではそのようなアンケートによるやりとりを踏まえ、学協会の倫理規程とは何か、特に原子力関係者の倫理とは何かについて述べる。

なお原子力学会の倫理規程は、ホームページ <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/rinri/> に掲載されているので、ご覧いただければ

幸いである。

2. 倫理規程は誰に守ってもらうものか

学協会の倫理規程は会員全員が守るべきものである。そこまでは当たり前である。ところで会員には大学や研究機関の会員もいれば、電力やメーカーそして規制行政庁の会員もいる。職場での地位もいろいろである。従来の原子力学会の倫理規程には、「自らが所属する組織を規制・監督する立場にある組織の代理人または受託者として規制・監督に関する業務を行うことは慎む。」のように、規制側でない者が規制・監督業務に就く場面を前面に出したものがあり、最初から規制側にいるものは対象外との印象を与えかねないという指摘があった。さらには「組織の中で指導的立場にある者は、……」と指導的立場の者だけが守るべき条文もある。読んでいて自分と無関係の条文が出てくると、自分のものという意識が薄らぐ心配がある。「すべての条文は権限や職位と無関係にすべき」との意見にも一理ある。倫理規程の書き方の基本方針に関わることであり、アンケートでの意見交換は白熱した。結論として、権限や職位と無関係ということにはあまりこだわらないこととなった。指導者の規範はトップマネジメントの強調ということから外せない点であることが一つの理由である。それ以上に、行動の手引にもあるように、それぞれの会員が「これを自分自身の言葉に置き直して専門活動の道しるべとする」ことこそが大切である。誰でも違和感なく読めることばかりにこだわると、大切なことが抜け落ちる。学協会の倫理規程とは、結局それぞれの立場で解釈し自分のものとして使うものである。

3. 倫理規程は誰に読んでもらうものか

学協会の倫理規程を会員が読むのは当然

である。同時に、会員の倫理観はどのようなものか学会外に知らせるといった役割もあり、非会員が受ける印象も無視してはならない。

従来の原子力学会の倫理規程では、「公衆の安全」「公衆の安心」のような形で「公衆」という用語を多用していた。「衆」には専門家が非専門家を見下ろしている響きがあり評判が悪い。「公衆」に代わる用語の提案がいろいろあった。リスクコミュニケーションで用いられている「市民」が有力であったが、原子力施設が立地する地域の多くは村や町であり、「市民」にも「都会人」というニュアンスを感じるという。「人類の安全」は個々人の安全を無視する響きがあり、「社会の安全」もやや意味が違ってくる。「国民」では外国人無視と誤解され、「住民」では近隣の人々に限定しすぎの感がある。「人々」も評判が悪く、結局「公衆の安全」という用語は残すこととなった。

ただ、「公衆が安心感を得られるよう努力」に対してはパターンリズム（父親的温情主義）的だという批判がある。「努力していればいずれ皆安心するはず」という考え方そのものにも疑問が出された。その結果この部分は大幅に見直され、行動目標は「安心」から「信頼」へ切り替えられた。

なお、原子力学会の倫理規程に対し熱心にコメントしてくるのは会員より非会員のほうが多いくらいである。第2回改訂においても非会員の方から何ページにも及ぶ実に丁寧な意見を非会員の方からいただいた。これまでの議論などもすべて読まれた上での、非常に緻密で前向きな意見であった。ご意見すべてがもっともなものではあったが、具体的に倫理規程にどう書き込むかとなると委員一同すぐには知恵が出ず、次回改訂でしっかり検討するとご返事することでご勘弁いただいた。学協会の倫理規程は

学協会と外部をつなぐチャンネルの機能も果たしているのである。

4. 倫理規程はどこまで守らねばならないものか

原子力学会で制定当初から遵守不可能な要求だとして議論が続いていたのが「原子力の安全に係る情報は、その情報がたとえ自分自身や所属する組織に不利であっても公開する。」「組織の守秘義務に係る情報であっても、公衆の安全のために必要な情報は、これを速やかに公開する。」といった条文である。特に後者に対しては、「これを守ったために不利益を被った会員から学会が訴えられたらどうするのか」という心配まで寄せられた。その点は学会の顧問弁護士から法的問題はないとの見解をもらっているが、問題は会員個人としてこれらをどこまで徹底して守れるかにある。「安全に係る情報」「安全のために必要な情報」とは何か、その定義の曖昧さがこの議論を呼んでいる。

「安全情報の定義が広く解釈され、取るに足りないことまで情報公開するのが当たり前とされたらどんな組織も崩壊する」という意見はずっと前から委員の間にもあり、情報公開については慎重に言葉を選んできた。そして前者については「適切な公開手順を組織が定める」という文とセットにすることで、独善的な情報公開を勧めているのではないことを明確化してあった。そこで不可能を強いているとの指摘は後者の「守秘義務に係る情報」の公開に集まっていた。今回の改訂では「まず所属組織に働きかけ」次いで「必要やむを得ない場合は公開する」という文を選んだ。これは昨年成立した公益通報者保護法に沿うものである。倫理規程は必要以上に会員を悩ますものであってはならない。法がある場合はそれを尊重した書き方を選ぶべきだと考えた。

だがこの改訂案は悩ましい問題を委員会から会員に転嫁したともいえる。どういう場合を「必要やむを得ない場合」と考えるかは会員に任されている。申し訳ないが、会員は自分なりの判断基準を考えておいていただきたい。

5. 倫理規程は論理的矛盾のないものか

原子力学会倫理規程の行動の手引には、「我々はここに記述した条項すべてを同時に守りえない場面に遭遇することも認識している」とある。これに対し、「守れないものは作る必要があるか」との指摘があった。例をあげないと理解しにくいのかかもしれない。我々は「法律遵守」と「人命尊重」といった最重要な規範のどちらかを選ばなければならないような厳しい場面にすら遭遇しうる。そのような場面ではより重要な規範に従うべきだが、どちらを重要かの判断は会員がしなければならぬ。尊重すべき規範にどのようなものがあるかを理解していないと、その判断自体を誤る。判断のための材料を与えることこそが倫理規程を定めておく意義である。倫理規程は必ずしも論理的ではないのである。

経済性優先への戒め、すなわち「経済性を安全性に優先させない」という表現は議論を呼んだ。そもそも経済性と安全性はトレードオフの関係にない。安全性を軽視した結果、事故を起こし、経済的に大打撃を被った事例は枚挙にいとまがない。安全性の追求こそが経済性の追求でもある。そこで「目先の経済性ととらわれて安全性をないがしろにしない」とすべきとの提案があった。確かに論理的ではあるが、論理的でなくても問題意識を強く呼び起こす表現とすべきとの意見が大勢を占め、採用されなかった。

結果的には表現を工夫することで問題を回避してしまったが、「契約は尊重しなけ

ればならない」と「法律に違反する恐れのあるような契約は締結すべきでない」をつなぐ接続詞は「しかし」なのか「したがって」なのかの議論も延々と続いた。論理的には法律違反の契約は無効なので「したがって」なのかもしれない。だがここで書きたいのは「契約尊重ばかり優先して法律違反するな」という警告である。「しかし」派と「したがって」派は同数で、結局創造的中道を取り「契約を尊重しなければならないこと、法律に違反する恐れのあるような契約は締結すべきでないことを我々会員は銘記する」という表現に落ち着いた。

6. 倫理規程の記述には限界がある

原子力学会の倫理規程では、例えば公開不要な情報とは「核不拡散や核物質防護、公衆の安全・利益等のため不適切なもの」という説明をし、「等」にいろいろなことを盛り込んでしまっている。安全のための慎重さの要求でも「手順を粗略にして大事故に至った例を想起し」という表現にとどめ、「具体例」はあげていない。その「慎重さ」にもいろいろなレベルがあるのに、どの程度のことを要求しているのかは書いていない。列記できるものはきちんと列記せよ、具体例があるものは具体例をあげよ、レベルまで示さなければ意味がない、といった意見があった。もっともといえどもっともである。

だが倫理規程とは、前にも述べたように「自分自身の言葉に置き直す」ものである。細部まで突き詰めるのは会員各自の責任である。行間に含みを持たせることは法令などではできるだけ避けるべきであるが、倫理規程は法令ではない。行間を各自で補っていただきたい。……と書いたのは半分本音で半分言い訳である。慎重さのレベルは条文で書けるとは思えない。同じ行動をとったとしても置かれた状況のわずかな違

いでそれが倫理的に許されたり許されなかったりする。また、ある人は倫理的に許せると考えても他の人は非倫理的と見る行為もある。「会員の倫理観は細部に至るまで完全に一致しているわけではない」（行動の手引）のである。倫理委員会では倫理規程とは別に「事例集」の必要性を感じ、作業を開始した。悩ましい事例を集め、どの程度の会員が倫理的と考え非倫理的と考えるかを調べていく。それが「倫理観の多様性を認め、多様性の幅についても明示する」ことにつながる。

7. 学協会ごとに倫理規程は異なるものか

原子力という技術は特別に許されたものだけしか扱ってはならないものである。それゆえ、他の技術系学会の倫理規程とは差が生じる。例えば日本機械学会には「能力を超えた業務を行うことに起因して社会に重大な危害を及ぼすことがないように行動する」という意味の条文はない。そこまで要求するのが原子力学会である。

本来禁止されている技術を扱うという特性から、自己規制を呼びかけた文ばかりが目立ちすぎるということは常々問題となっていた。倫理規程は自らの行動規範の下敷きになるものである以上、なぜ原子力に取り組むのかについてももう少し盛り込むべきとの指摘を受けた。その方が自らの意思で為そうとすることの文章化だと感じられるというのである。そこで前文に「功罪両面を有する原子力を人類の福祉に役立てられるかどうかは、ひとえに人類の英知にかかっている」や「この原子力の平和利用に直接携わることができる誇りと使命感を胸に」といった文が加わった。

憲章の第1条に平和利用への限定が掲げられているのは原子力学会ならではのものである。ところで「核兵器の研究・開発・製造・取得・利用に一切参加しない」まで

は誰でもすぐ賛成する。これを一歩進めて「核兵器廃絶へ向けた不断の努力」も会員には求められているのではないか、との問題提起があった。だが、実際にどういう行動が可能なのか、委員にもよく分からない。それで、会員に要求できるものか、そもそも倫理規程に馴染むものかもはっきりしない。そこで盛り込まれたのは核不拡散への配慮まで、核兵器廃絶への努力はない。しかし核兵器廃絶は我々全員の願いではあると思う。

8. 宣言としての倫理規程

倫理規程は学協会の会員が制定するものであり、外部への宣言である。したがって法令と異なり、「……してはならない」という文章とはしない。「……する」「……に努める」という文となる。

「努める」だけでは弱いのではないかという質問もあった。自らの意思だけでできることは「……する」という表現ができるが、他者との関係があって自らの意思だけでは必ずしもできないことは「……に努める」までが限界である。例えば「社会の信頼を得る」ことや「組織を変革する」ことなどは「……努める」までである。

原子力学会倫理規程の憲章8条では原子力業務に従事することに誇りを持つことを求めている。学生会員にそれを求めるのは無理ではないかという指摘があった。しかし学生会員といえども自ら選んだ道に誇りを持ってもらいたい。卑屈さを感じて仕事を続けてもらいたくない。

倫理規程は自らの行動を律するものである。自らの動きばかりを考えているとうっかりして他者との関わり方を忘れがちになる。行動の手引では「他の意見・批判をよく聴き、真摯・誠実に討論・討議に参加すること」「相手の立場に立つ姿勢で分かりやすく説明」「他者の意見を傾聴」などの

言葉により、それを戒めている。

9. おわりに

原子力学会の倫理規程改訂に関連しての倫理委員会内部の議論について、その一部を紹介しつつ、学協会の倫理規程とはどんなものか解説した。ただ、この文だけではお分かりにくいのではないかと思う。これを読みながら、原子力学会の倫理規程も是非一緒に目を通していただきたい。前にも述べた通りこれは非常に長いものなのでここに一緒に掲載できないが、ホームページ<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/rinri/>に掲載されているので、ご面倒でもそちらを開いていただきたい。そちらにはこれまでの原子力学会の倫理規程改訂の歴史やどのような議論があったのかも掲載されている。参考にしていただきたい。この文を読むことによって学協会の倫理規程に少しでも興味を持ってくださったら望外の喜びである。

プロフィール

1948年東京生まれ。東京大学で修士課程まで機械工学を学んだ後、1972年から3年間東京芝浦電気株式会社総合研究所に勤務。その後、東京大学講師、助教授を経て1990年から教授。2005年からの原子力専攻（専門職大学院）の立ち上げに努力し、現在原子力専攻の専攻長を務める。長い間、原子力の熱流動や安全を専門としてきたが、現在は原子力技術の社会受容性や規制制度のあり方、技術倫理、核不拡散問題など技術と社会の関わりを研究。国の仕事としては、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会委員、原子炉安全小委員会委員長など多数。機械学会発電用設備規格委員会委員長や電気協会原子力規格委員会委員長など学協会規格制定にも深く関与。原子力学会倫理規程には制定委員会時代から関わり、倫理委員会発足後はずっと幹事を務める。

原子力分野におけるファントム利用の 現状と標準化に向けての課題



栗原 治*

1. はじめに

国際放射線単位及び測定委員会 (ICRU) によれば、ファントムとは、人体における放射線の相互作用を模擬するものと定義される^[1]。ファントムには、実在する物理ファントムと計算機上で定義される数値ファントムがあるが、放射線治療、放射線診断、放射線防護、放射線生物学など電離放射線を用いる様々な分野で利用されている。原子力分野におけるファントムの利用は、放射線防護に関連したものであり、その代表的な例として、等価線量や実効線量を定義するために用いられる数値ファントム、個人線量計の校正の際に人体の代用として用いられる物理ファントム、体内放射能の定量に用いられる放射能及び人体組織等価材を内蔵する物理ファントムなどがある。ファントムに関連した研究としては、人体組織等価材や超ウラン元素を対象とした肺モニタ校正用ファントムの開発などがあり、近年では、被ばく線量の詳細な計算シミュレーションを目的として、精密にモデル化された人体数値ファントムの開発が行われている。また、これらのファントムの一部については、標準化に向けた取り組みがなされている。本稿では、原子力分野で利用されるファントムの中で、主として、測定に用いられるファントムに着目し、その標準化に向けての課題を検討した。

2. 原子力分野で利用されるファントム

原子力分野で利用される代表的なファントムについて、外部被ばく防護と内部被ばく防護に分類し、以下に解説する。MIRD ファントム等の数学ファントムは、放射線防護である等価

線量や実効線量の定義に利用されるが、紙面の都合上、本稿では解説を省略した。

(1) 外部被ばく防護で利用されるファントム

国際放射線防護委員会 (ICRP) の1990年勧告^[2]の法令等への取り入れに伴い、外部被ばく防護に係わる線量の測定には、従来の周辺線量当量 $H^*(d)$ に加えて、個人線量当量 $H_p(d)$ が導入された。個人線量当量は、個人線量計で測定される線量であり、概念上、人体軟組織を有する ICRU スラブファントム内のある深さにおける線量当量と定義される。ICRP Publication 74^[3]では、空気カーマからの ICRU スラブ中の個人線量当量への換算係数を与えており、この関係に基づいて、個人線量計の校正が行われる。

個人線量計は人体に着用されるため、人体からの後方散乱成分が線量計測量に寄与することになる。これを補正するために、個人線量計の校正はファントム上に設置して行われる。このファントムの形状は非常に単純であり、スラブや円柱形状のものが利用される。形状は、一度に多くの個人線量計を校正するといった実用性も考慮して決められている。ファントムの仕様は ISO^[4,5] や JIS^[6] に明記されており、表1にそれらをまとめた。写真1には、ISO で示されている体幹部個人線量計の校正用ファントムを示した。ファントムの材質については、人体に近い後方散乱特性を有する必要があるため、モンテカルロシミュレーションによる検証がなされている。その結果、体幹部用個人線量計用のスラブファントム及び ISO 水スラブファントムともに、光子、中性子に対して良好な後方

*Osamu KURIHARA 日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部 線量計測課

表1 個人線量計の校正に利用されるファントム

用途	呼称	材質*	形状	適用線種	備考
体幹部	Slab phantom	PMMA	平板(40cm×40cm×15**cm)	光子・電子	JIS Z 4331
		PMMA	平板(30cm×30cm×15**cm)	光子・電子	JIS Z 4331 ISO-4037-3
	ISO water slab phantom	PMMA 容器に水を封入	外寸(30cm×30cm×15cm) 肉厚は各面10mm(ただし、前面は25mm)	光子・電子 中性子	ISO-4037-3 ISO-8529-3
局部	Rod phantom	PMMA	円柱(19mmφ×300mm)	光子・電子	ISO-4037-3
	Pillar phantom	PMMA 容器に水を封入	円柱(73mmφ×300mm) 肉厚は側面25mm(他は10mm)	光子・電子	ISO-4037-3

* PMMA とは、Poly Methyl Methacrylate (ポリメタクリル酸メチル、通称メタクリル樹脂) の略

** β線用の場合は2cm以上 (JIS Z 4331)

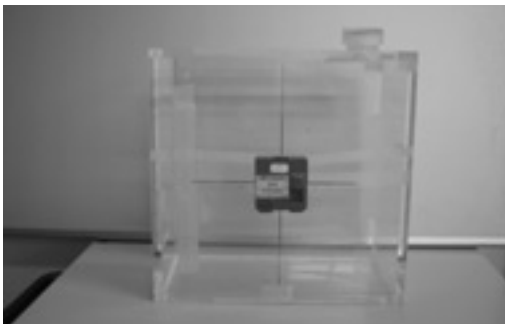


写真1 体幹部個人線量計の校正用ファントム

散乱特性を有することが確認された^[7,8]。ただし、光子については、現行JIS規格であるPMMA製のスラブファントムは、人体に比べて後方散乱が若干増加する傾向がある^[8]。個人線量計に及ぼす後方散乱成分の影響は、アルベド線量計を除けば25%以内と見積もられ、ファントムの形状に精密さは必要とされない^[9]。なお、中性子アルベド線量計の校正には、水を主材としたファントムが必要となる^[10]。

(2) 内部被ばく防護で利用されるファントム

体内に取り込まれた放射性核種は、体外計測法やバイオアッセイ法によって測定される。体外計測法は、体内に取り込まれた放射性核種からの放射線を、体外に配置した放射線検出器で計測することから、このように呼ばれている。原子力施設に存在する核種の多くは、体外計測に適したエネルギーのγ線を放出する核種が多いため、体外計測法は原子力施設における主要

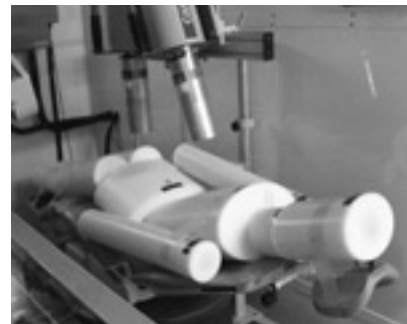


写真2 全身カウンタに配置したBOMABファントム (写真的BOMABファントムは放射線医学総合研究所から借用したもの)

な内部被ばくモニタリング法として位置づけられている。体外計測機器としては、測定対象とする部位に応じて、全身カウンタや肺モニタなどが開発されている。これらの機器の校正には、体内放射能を模擬した擬人化ファントム (anthro-pomorphic phantom) が利用される。

① 全身カウンタ用校正ファントム

全身カウンタは、全身を測定対象とする体外計測機器である。このため、校正用ファントムは、全身を模擬したファントムが開発され、ブロックファントム^[11]やBOMABファントム (Bottle Manikin Absorption Phantom) (写真2)^[12]が一般的に利用されている。前者は国内で広く利用されているファントムであり、後者は米国規格 (ANSI) のファントムである。ブロックファントムは、各部位を表現したアクリル製の容器に、放射性核種を含む水溶液を封入して製作される。BOMABファントムは、

ポリエチレン樹脂製の円筒容器に、放射性核種を均一に分布させたポリエチレン樹脂を封入して製作される。ポリエチレンは密度が軟組織に比べて若干小さいことから、CaCO₃やBi₂O₃を添加したポリウレタンを使用する場合もある。これらの封入物質は、軟組織に対する人体組織等価材となる。いずれのファントムも、直方体や円筒形で各部位を表現しており、形状の簡素化が図られているが、全身カウンタの測定対象としている光子エネルギー範囲（数百 keV から数 MeV）では、詳細な形状と比較しても大きな差異をもたらすものではない^[13]。

② 肺モニタ用校正ファントム

肺モニタは、吸入摂取に伴い、肺に沈着した超ウラン元素を測定対象とする。超ウラン元素のα崩壊に伴い放出される低エネルギーの特性X線やγ線を検出するため、検出部にはホスイッチ検出器や薄平板型Ge検出器が利用される。内部被ばく防護上、特に重要なプルトニウムからは、17keV、20keV等の特性X線が放出される。なお、プルトニウム同位体の一つである²⁴¹Puの崩壊に伴い²⁴¹Amが生成されるが、²⁴¹Amからは比較的測定しやすい60keVのγ線が放出される。このため、胸部計測では、²⁴¹Amはプルトニウムに対する良好な指標となる。肺モニタの校正用ファントムとしては、LLNLファントム^[14]やJAERIファントム^[15]がある（写真3）。LLNLファントムは米国人の平均的な体格を持つ男性を、JAERIファントムは日本人の平均的な体格を持つ男性をモデルとしている。これらのファントムは諸外国でも一般的に利用されており、JAERIファントムについては、IAEA主催の国際相互比較試験に採用された^[16]。両ファントムとも、付属する様々な厚さの胸部板を用いることにより、被検者の体格に応じた胸部厚の変更を行うことができる。全身カウンタの校正ファントムと比べると、形状の精密さにおいて両者は異なる。図1には、異なる組織中における光子の減弱割合を、幾つか



写真3 LLNLファントム(左)とJAERIファントム(右)

の光子エネルギーについて示したが、低エネルギーになるほど、組織の違いを考慮しなければならないことが解る。このため、これらのファントムの開発では、人体組織等価材の開発が並行して行われた。両ファントムとも、ポリウレタンを基材としているが、光子の減弱特性を調節するために、LLNLファントムは炭酸カルシウム、JAERIファントムはリン酸エステルを添加材として用いている。

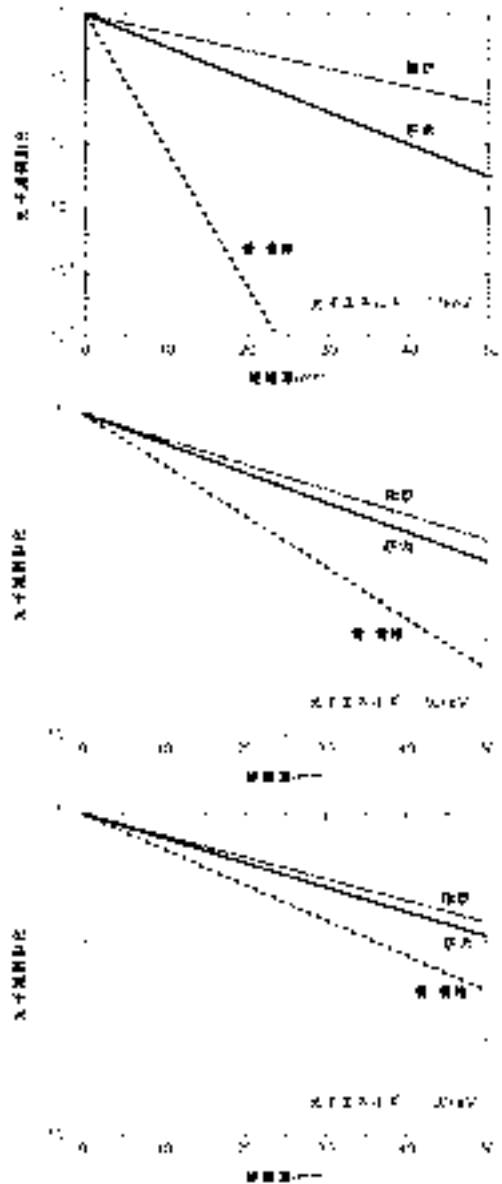


図1 異なる組織中の光子の減弱割合

3. 国内におけるファントム利用の現状

原子力分野では、個人線量計や体外計測などによって、放射線作業者の個人被ばく管理が行われている。個人線量計の校正は、照射設備を有する原子力事業者や個人線量測定サービス機関において行われているが、ファントム自体が問題となる点は少ない。ISOでは、四肢、指用の個人線量計に対するファントムまで規格しているが、国内での状況を踏まえて、検討するのが良いと思われる。体外計測機器の校正は、機器を有する機関で独自に行われているのが現状である。全身カウンタについては、原子力機関のみならず、大学や医療機関にも設置されており、1994年の報告によれば、全国で約80台が確認されている^[17]。これらの装置に用いる校正用ファントムとしては、ブロックファントムが一般的であるが、校正の方法やファントムの仕様についての国内規格は特になく、カナダでは、BOMABファントムを国内の標準ファントムに位置づけ、国内の線量測定サービス機関に校正を義務付けている^[18]。肺モニタは、日本原子力研究開発機構、放射線医学総合研究所等の限られた機関に設置されており、LLNLファントム等を用いて校正が行われている。

4. 標準化に向けての課題

標準化について、日本工業規格標準調査会(JISC)のHPに解説されている^[19]。それによれば、標準化とは、「放置されることにより、多様化、複雑化、無秩序化する事柄を、少数化、単純化、秩序化すること」、また、標準(=規格)とは、標準化によって制定される「取り決め」とされる。我が国では、工業分野における標準として日本工業規格(JIS)があるが、品質の設定、生産の効率化、技術進歩の促進などが標準化の主な意義である。

原子力分野で行われる個人被ばく管理についても、その品質を効率的に確保する観点から、標準化が必要である。我が国の法令等においては、外部被ばくによる実効線量の評価に関しては、照射設備を含めた個人線量計の校正方法が規格化されている。一方、内部被ばくによる実効線量の評価は、体内に取り込まれた放射線量を直接的あるいは間接的に測定することを基本としているが、直接的な手法である体外計測法については、ファントムを含めた測定手法全体

の標準化に関する議論が余りされてこなかったように思える。その一因としては、原子力施設では内部被ばく防止の対策が行き届いており、内部被ばくの発生頻度が非常に低いためであろう。外部被ばく防護同様に、ファントムだけでなく、ファントムを含めた測定手法全体の標準化を議論すべきであると考えられる。

標準を構築するためには、標準を必要とする背景が必要となる。ファントムを利用する関係機関の間で、ファントムの仕様や使用方法などに関して、コンセンサスが得られなければならない。実務に用いるファントムの標準化は、冒頭で述べた人体における相互作用を模擬するものという科学的な側面だけでなく、取り扱いの容易さやコストなど、それを利用する関係者の利便性にも配慮して検討されるべきであると考えられる。以下に、体外計測法を例として、標準化に関連する技術的課題と対応について列挙する。

- 近年、原子力防災対策の一環として、体内汚染測定のための設備や体制が国内で整備されつつある。全国各地に指定された二次、三次被ばく医療機関には、全身カウンタや甲状腺モニタ等の体外計測機器が配備された。これらの機関と原子力機関との間で線量評価の一貫性が確保されていることが必要であり、そのための体外計測法の標準化が急務な状況となっている。
- 体外計測法の標準化に必要なことは、まず標準となる校正用ファントムを決定することである。標準ファントムは、利用者への利便性を考慮し、製作が容易で低コストのものが望ましい。全身カウンタに関して言えば、放射線防護に求められる精度を考えると、形状や寸法に関して細かく定義する必要はなく、ある程度の尤度を持たせてよい。また、人体の形状や、骨や軟組織などの組織の違いを厳密に考慮することも不要であり、従来から利用されているブロックファントムは標準ファントムとして妥当である。体格についても、成人、子供、幼児程度の違いを考慮すれば、大抵の場合は十分である^[20]。
- 全国各地に配備された体外計測機器を型式毎に整理し、その代表機器に対して校正ファントムによる値付けを行う。併せて、点線源等を用いて応答特性を評価する。同一型式間で、点線源に対する応答特性に違いが認められな

ければ、代表機器に対する校正ファントムの値付けが他機器でも適用できると考えられる。

- 体外計測機器では、検出器から出力された波高スペクトル上に現れるピークに着目して、核種の同定や体内放射能の定量が行われるため、人体形状に拘らなくても、ファントムと等価な計数効率を得るための工夫は可能であると思われる。現に米国の放射線計測機器メーカーでは、全身カウンタの校正用ファントムとして、バイアル線源と簡単な遮へい板を組み合わせたファントムを提供している。このようなファントムは、利用者が独自に校正を行う場合は非常に有効である。
- 全身カウンタについては、近年、被ばく医療機関の多くに配備されたこともあり、全国での設置台数は100台を超えるものと予想される。国内において、体外計測機器の校正サービスを行う機関があると良い。特殊な校正を必要とする場合には、日本原子力研究開発機構や放射線医学総合研究所などの放射線防護協力機関^[21]との連携も必要であろう。さらに、測定の水準を維持する上でも、定期的な相互比較試験が行われることが望ましい。

5. おわりに

昨今、コンピューター技術の目覚ましい発展に伴い、一辺が数mm角程度の微小体積から形状が定義されるボクセルファントムによるシミュレーションが可能となった。ボクセルファントムは、高精度な線量評価が要求される医療分野への適用が期待されており、我が国でも研究が進められている。ICRPにおいても、標準人ボクセルファントムの開発が進められており、今後の展開が注目される。ボクセルファントムを初めとした数値ファントムは、物理ファントムに代わり、ファントム高度化に向けた開発の主流となりつつある。このような技術は、線量評価や測定自体のあり方に、今後多大な影響を及ぼすことになろう。しかし、個人被ばく管理の中に、線量や体内放射能の測定が組み込まれている限り、測定機器を正しく校正し、測定の標準化を図るためのファントムの必要性が変わるところはない。これらのファントムは、その技術的な妥当性を明確に示した上で、利用上のばらつきを少なくするため、可能な限り単純化されることを追求すべきである。そのための標準化の取

り組みは、未だ十分では無いように思われる。

参考資料

- [1] ICRU:ICRU Report 44 (1989)
- [2] ICRP:ICRP Publication 60 (1991)
- [3] ICRP:ICRP Publication 74 (1996)
- [4] ISO:ISO4037-3 (1999)
- [5] ISO:ISO8529-3 (1998)
- [6] JIS:JIS Z 4331 (1995)
- [7] J. C. McDonald. *et. al.*, *Radiat. Prot. Dosim.*, Vol.59, No.4, p.263 (1995)
- [8] 高橋史明ら、*RADIOISOTOPES*, 47, p.29 (1998)
- [9] ICRU:ICRU Report 48 (1992)
- [10] 百瀬ら、*動燃技報*, No.81, p.50 (1992)
- [11] 村主ら、*JAERI-5002* (1960)
- [12] Health Physics Society, *ANSI/HPS N 13.35-1999* (1999)
- [13] T. Ishikawa. *et. al.*, *Health Phys.* Vol. 82, No.3, p.348 (2002)
- [14] R. V. Griffith, *IAEA-SM-229/56* (1978)
- [15] T. Shirotani, *J. Nucl. Sci. Technol.*, Vol. 25, p.875 (1988)
- [16] IAEA, *IAEA-TECDOC-1334* (2003)
- [17] 小佐古ら、*保健物理*, 29, p.217 (1994)
- [18] CNSC, *Regulatory Standard S-106* (1998)
- [19] 日本工業規格標準調査会 HP (URL : <http://www.jisc.go.jp/index.html>)
- [20] 栗原ら、*サイクル機構技報*, No.25, p.49 (2004)
- [21] 原子力安全委員会、*緊急被ばく医療のあり方について* (2001)

プロフィール

- 1997年 名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了(原子核工学専攻)、同年 動力炉・核燃料開発事業団入社し、再処理施設での放射線管理に従事。
- 1998年10月 核燃料サイクル開発機構に改組。翌年より安全管理部(後に放射線安全部に組織変更)線量計測課へ異動し、放射線業務従事者の内部被ばく管理業務に従事。
- 2005年10月 新法人日本原子力研究開発機構発足。この間、全身カウンタの開発やセミパラチンスク住民の健康調査等を担当。「JCO臨界事故の際、現場で支援活動を行った経験があり、それが今貴重な財産だと感じています。」

創造とチャレンジ

原子力委員 町 末 男

日本の強さの1つは集団の力だと思う。これは伝統的な「和の精神」がうまく生きており、戦後の教育が国民の知的レベルを効果的に高め得た成果である。一方、この画一的で効率的な教育は「横並び」を好む安定志向が多数派になるという結果をもたらしたのではないか。

しかしながら現在、科学技術でも、経済でもフロントランナーとなった日本に必要なのはチームプレーの力に加えて、「創造力」であり、それを活用して事業に展開する「チャレンジ精神」である。事業経営はリスクを最大限回避する必要があるので、リスク評価は不可欠だが、やってみなければ判らないこともある。その場合「挑戦する気構えと信念」が必要である。

国際機関で長く仕事をして、1年前から初めて日本で仕事についてという知人が、日本では新しい提案をすると「前例がないから……」といわれてしまうと嘆いていた。日本の国際競争

力を保つために独創的な新しい試みに挑戦する勇氣と決断力が企業にも個人にも求められている。

研究開発においては、一層高度の「独創性」が求められる。他人の研究を追いかけているのでは、真の研究とは言えない。私の経験では新しい発想は「実験」から生まれる。とくに化学や生物の分野では実験が大事である。実験が示す事実の意味を深く考察し、目的への道を探っていく中で独創的な着想が生まれる可能性がある。理論科学は重要だが、その実証にも「実験」が必要である。

独創的研究の成果を「実用」に結実させるには、さらに、効率的な製造プロセスの開発や製品の評価研究も必要であり、多くの努力と工夫の結集を要するので、異分野の専門家がチームを組み進めるのが効果的である。

五感に訴えない放射線のニュースをオオトリの六感で捉えるカレント・トピックス

“茹で蛙”と異常気象

鴻 知己

生きた蛙を水と一緒に鍋に入れ、ゆっくり熱して行くと、蛙は茹でて死んでしまうが、熱湯にしてから投げ込むと、蛙は吃驚して飛び跳ねるので死なずに済むのだという。自分で確かめた訳ではないが、ありそうな話である。日本がバブル経済に浮かれた挙句、「失われた10年」を作り出してしまったのは、まさにその良き例である。

今、化石燃料の大量使用などによる環境汚染に人々の関心が高まっているが、「地球の放射冷却の能力が低下して平均気温が年々上昇し、それに伴って南極の水のとける量が増えだし、海面が少しずつ上昇するので、島々の中に水没するものが増え出す」などと聞いても、水の

中に居る蛙と同じで、差し迫った危機感に身を震わせるということはない。

しかし、例え上昇の幅が小さなものであっても、気温が上昇に伴って引き起こされる海水蒸発量の増大は、台風やハリケーンの“勢力”を巨大なものに変える力を持つ。筆者には、このところ目に付く、台風やハリケーンの大型化・凶暴化は、平均気温の微々たる上昇が齎す、増幅された影響のように思われてならない。

この仮説が真実のものかどうか、検証して欲しいと願うが、少なくともその可能性があることを前提に対策を考えておかなければ、我々は“茹で蛙”にならずに済むと思うが、如何であろうか。

化学イオン化質量分析法による 大気硝酸の測定



—清浄なイオン源としての放射線源の重要性— 近藤 豊*
他、北 和之、森野 悠*

1. 序

硝酸 (HNO_3) は、窒素酸化物の最も重要なリザーバーとして知られている。窒素酸化物は、生態系に悪影響を与え重要な温暖化物質でもある対流圏オゾンの主要な前駆物質である。 HNO_3 は、日中の二酸化窒素 (NO_2) と水酸ラジカル (OH) の反応あるいは夜間の五酸化二窒素 (N_2O_5) のエアロゾル上での不均一反応で生成する。対流圏では、 HNO_3 の光解離や OH との反応による窒素酸化物生成の反応速度は遅く、乾性沈着あるいは雲に取り込まれての湿性沈着によって大気から不可逆的に消失するが、それが反応性窒素化合物の主要な消失過程となっている。またこの過程で、 HNO_3 はアンモニアとの反応によるエアロゾル化、あるいは海塩粒子への取り込みにより硝酸塩エアロゾルを生成し、対流圏エアロゾルの濃度、および諸特性に影響を与える。以上のように、 HNO_3 はオゾン化学・エアロゾル化学において重要な役割を持ち、それらを通じ大気の放射収支を変化させることで、気候変動に有意な影響を与える可能性がある。また、 HNO_3 は硫酸とともに酸性雨の原因物質である。北米、ヨーロッパなどにおいて硫黄酸化物は減少しているものの、窒素酸化物はあまり減少していない。従って、大気環境問題を考える上で、 HNO_3 はきわめて重要な物質であり、今後その重要性はさらに高まると考えられる。しかし、その大気中における濃度変動や沈着・消失過程、エアロゾルとの相互作用については、まだ観測に基づく実証的な研究はきわめて不十分である。その大きな理由

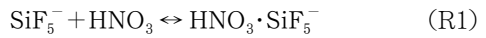
は、大気中の HNO_3 濃度を正確に測定することが困難であったためである。特に、実大気中の化学反応を調べることが可能となる、分オーダー以下の時間分解能での HNO_3 と他の反応性窒素化合物および無機エアロゾル組成の同時観測は、これまでほとんど行われていない。

従来 HNO_3 の測定器としては、フィルターサンプリング法、ミストチャンバー法、デニューダー法などが用いられてきた。フィルターサンプリング法 [Fehsenheld *et al.*, 1998] では HNO_3 をナイロンフィルター上に捕集した後、ミストチャンバー法 [Talbot *et al.*, 2000] では水滴に捕集した後、いずれもイオンクロマトグラフィーによって HNO_3 を検出する。これらの方法では、せいぜい10分程度の時間分解能しか得られないことと、気相の HNO_3 だけでなく硝酸エアロゾルの干渉を除去することが困難である問題がある。デニューダー法 [US EPA, 1999] や、拡散スクラパー法 [Komazaki *et al.*, 1999; Komazaki *et al.*, 2002] では、気相の HNO_3 のみを採取することが可能であるが、時間分解能は30分程度である。その他、 HNO_3 の 1720 cm^{-1} の吸収線に同調させたダイオードレーザーからの赤外光の大気による吸収量から HNO_3 濃度を定量する Tunable Diode Laser Absorption Spectrometer (TDLAS) 法を用いることで、1秒程度の高時間分解能で、 HNO_3 測定が可能であることが報告されている [Horii *et al.*, 2002]。しかし、TDLAS で十分な精度を得るために200m程度の光路長を必要とする。

*Yutaka KONDO 東京大学先端科学技術研究センター教授、Kazuyuki KITA 茨城大学助教授
Yu MORINO 東京大学先端科学技術研究センター大学院生

近年、化学イオン化質量分析法 (Chemical Ionization Mass Spectrograph ; CIMS) を採用した硝酸測定装置が実用化された [Huey et al., 1998など]。この手法では、大気中の HNO_3 を、別に作成したイオン (試薬イオン) と反応管内で混合・反応させることでイオン化し、生成した二次イオンを質量分析器で分離・定量する方法である。試薬イオンとして HNO_3 と選択的に反応するものを選定することで、質量分析器での分別とあわせ、他の成分の干渉をほとんど受けない、気相の硝酸のみの測定が可能になる。図1に、CIMSによる HNO_3 測定の概念図を示す。CIMSによる HNO_3 測定には、試薬イオンとして SiF_5^- イオン [Huey et al., 1998 ; Neuman et al., 2000 ; 2002]、 CO_3^- イオン [Miller et al., 2000 ; 2003] やメタンスルホン酸イオン (CH_3SO_3^-) [Zondlo et al., 2003] を用いる方式が提案されている。ここでは、比較的簡単な装置で高い選択性を可能にする SiF_5^- イオンを用いる方式について説明する。この方式では、 HNO_3 は (R1) の平衡反応でイオン化される。 SiF_5^- イオンは、 SF_6 、および SiF_4 の混合ガスから弱い放射線や放電により生成される。この試薬イオンが他のイオンを生成することによる測定時の干渉の影響は小さい [Heuy and Lovejoy, 1996]。反応管中の空気滞在時間を (R1) の化学平衡 (時定数0.2~0.3秒) が達成されるように流量・圧力を設定すると、式(1)により HNO_3 濃度が求めるこ

とができる。



$$[\text{HNO}_3] = \frac{[\text{HNO}_3 \cdot \text{SiF}_5^-]}{[\text{SiF}_5^-] K_{eq}} \quad (1)$$

ここで、[] で囲まれたものは各成分の濃度、 K_{eq} は (R1) の平衡定数を表す。生成したイオンは、四重極質量分析装置により検出されるが、高感度の検出装置を用いることで、pptv (体積一兆分率) レベルの高精度と秒オーダーの高時間分解能の両立が可能である。但し、この方式では水蒸気の影響をわずかながら受けるため、水蒸気が多い地表付近での測定で用いるときには、適切な対策を行うことが必要である。

2. 装置の構成

図2に東京大学・茨城大学他のグループによって開発された CIMS 硝酸測定装置の配管ダイアグラムを示す。大気より導入された試料空気は、イオン源からの試薬気体と反応管内ですぐに混合される。そこで試薬気体中の試薬イオン (SiF_5^-) が試料空気中の HNO_3 と (R1) の反応を起こして二次イオン ($\text{HNO}_3 \cdot \text{SiF}_5^-$) を生成する。反応管を通過したイオンは、イオンレンズで加速され、四重極質量分析計に入る。四重極質量分析計によって目的の質量数を持つイオンのみが分離され、その後にある電子増倍管によって検出される。

2.1 試薬イオンの生成

HNO_3 をイオン化する試薬イオンとして SiF_5^- を採用している。このイオンは放電によっても生成できるが、より安定にイオン生成できることから今回の装置では、 SiF_5^- は緩衝ガスとして用いている2.0slmの N_2 に、0.46ppmvの SiF_4/N_2 ガスと0.42ppmvの SF_6/N_2 ガスを混合した試薬気体を、740MBqの ^{210}Po 放射線源管中を通すことで生成している。この場合 SiF_5^- は、 SF_6 が放射線源によって (R2) の反応でイオン化され、(R3) の反応で電荷交換することで生成される。これらの反応は数ミリ秒の時間スケールで起こる。

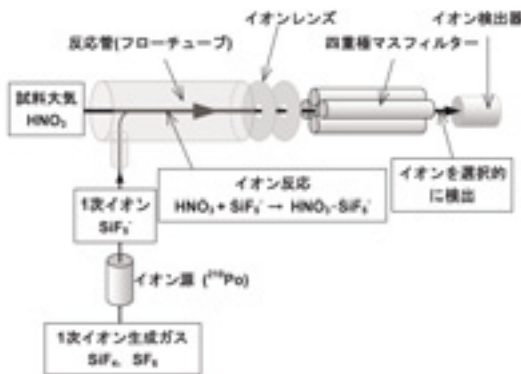


図1 化学イオン化質量分析法 (CIMS) による HNO_3 測定方法の概念図

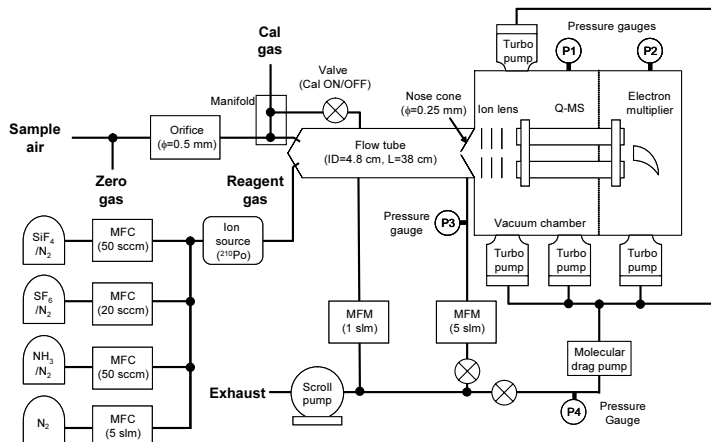


図2 HNO₃測定用CIMSのダイアグラム

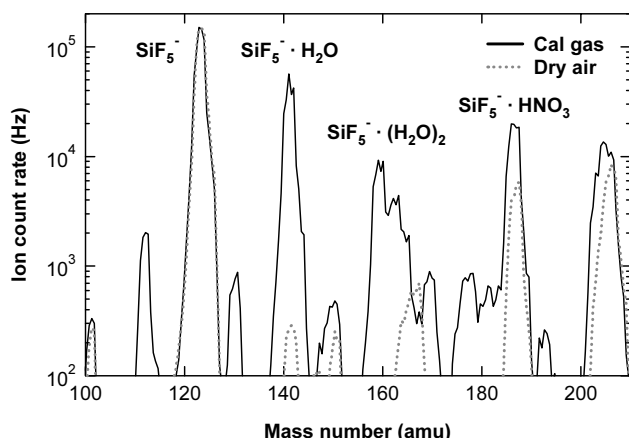


図3 硝酸校正ガス (Cal gas、実線)、およびボンベ純空気 (Dry air、点線) をCIMSに導入した時のマススペクトル



ここで生成される一次イオン量は感度を決定する重要な要素である。

この一次イオン量は、試薬気体の流量によって大きく変化する。我々の実験では、SiF₅⁻、HNO₃・SiF₅⁻ともに、SiF₄の流量が5-10sccmの時に最大で、それよりも大きくなると逆に減少する。また、SF₆の流量変動によるイオンカウント変動は小さい。SiF₅⁻、HNO₃・SiF₅⁻ともに、N₂が2slmの時にイオンカウントが最大となっている。

3. 装置性能および測定例

3.1 マススペクトル

図3に、今回の装置で得られたマススペクトルの一例を示す。一次イオンとしては試薬イオンであるSiF₅⁻ (123amu)が最もカウント数が大きく200,000cps程度で、他には(SiF₄)₂⁻ (208amu)が20,000cpsである。一次イオンのカウント数は、HNO₃濃度が高くなる校正時や、水蒸気濃度が高い時にわずかに低くなる。これは、一次イオンの一部がHNO₃やH₂Oの分子と反応して二次イオン(HNO₃・SiF₅⁻、H₂O・SiF₅⁻)を生成するためである。二次イオンとしては、HNO₃・SiF₅⁻ (186amu)が校正時(試料空気HNO₃濃度10ppbv)に20,000cps程度あるほか、試料空気中の水蒸気から水クラスターイオンが生成される。水クラスターイオンの生成量は大気の水蒸気量に依存するが、SiF₅⁻・H₂O (137amu)が30,000-70,000cps、SiF₅⁻・(H₂O)₂ (159amu)が10,000cpsと大きく、SiF₅⁻・(H₂O)₃ (177amu)も1,000cps程度と小さいながら存在する。また、このマス

スペクトルに示されるように、HNO₃や水以外との反応から生成される二次イオンが非常に少ない。このことからSiF₅⁻イオン反応の選択性が良好で、水以外の成分による干渉が無視できることが分かる。今回、HNO₃・SiF₅⁻のピークの半値全幅は約2amuとあまり分解能を高くしていないが、十分他のピークと分離できている。但し、天然に存在する同位体のため、質量数が異なるHNO₃・SiF₅⁻による小さいピークは分離できていない。

3.2 拡散スクラバー法による測定との比較

東京大学先端科学技術研究センターでの観測

の一環として、2003年10月および2004年6月にここで紹介した CIMS 装置と拡散スクラバー装置 [Komazaki *et al.*, 1999; 2002] との大気 HNO₃ 同時比較測定が行われた。図 4 に、6月の比較観測結果の時系列を示す。双方の測定結果に大きな差は見られず、HNO₃ 濃度はオゾンとほぼ同期して増減している様子がわかる。図 5 は、CIMS と拡散スクラバーの同時刻での測定結果を比較した図を示す。両者は、互いにほぼ20%の範囲内で一致しており、誤差を考慮

するとよい一致といえる。この結果からも、CIMS による観測の正当性が確認された。

4. まとめ

化学イオン化質量分析法 (CIMS) は、近年急速に研究開発が進められ、これまで測定が困難であった多くの大気物質の測定を可能にしている。今回、大気硝酸の測定に応用して好結果が得られた。この方法の利点は、放射線源を用いて硝酸を選択的にイオン化し、さらに生成イオンを質量分析で分別することで、他の成分の干渉を少なくできること、そして高感度が得られるために長時間分解能の測定が可能なことである。今回開発された装置では、試薬イオンとして SiF₅⁻ を採用し、検出限界約 10pptv、時間分解能 2 秒以内という性能が得られた。このようにして実用化された高精度・長時間分解能の硝酸測定装置を用いて、硝酸の連続測定を、2003年-2004年に東京で行った。拡散スクラバーとの同時観測からも測定の正当性が確認された。今後、このような観測から、窒素酸化物の収支および気相から硝酸がエアロゾルへ取り込まれる過程の定量的解明に役立っていくと考えている。CIMS 法は、硝酸のみならず様々な成分の高感度測定に適用できるため、これまで測定が不可能であった成分を含む様々な成分の同時観測を可能にし、大気中の様々な化学過程の解明

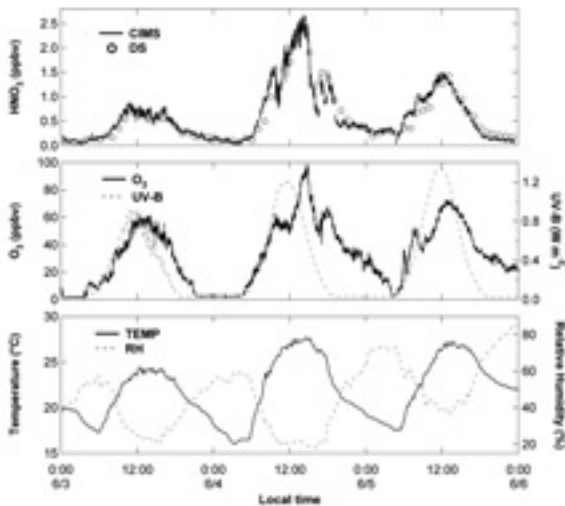


図 4 2004年6月3～日の CIMS および拡散スクラバー (DS) によって測定された大気中の硝酸濃度およびオゾンや気象要素の時間変化

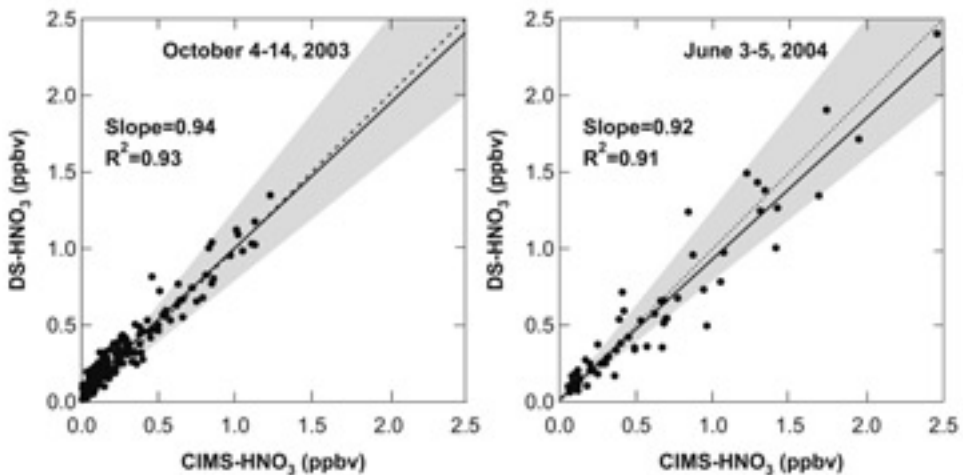


図 5 CIMS および DS によって測定された大気 HNO₃ 濃度の比較

に重要な役割を果たすと期待される。

最後に、清浄なイオン発生源としての放射線の重要性を強調したい。イオンは原理的には、気体の放電によっても可能である。しかし、これまでの我々の実験・経験によれば、放電によって作られるイオンは、放射線を用いた場合に比べて、より多くの種類のイオンからなる。このため、高精度の大気組成の測定には、實際上、放射線によるイオンの発生が必要不可欠である。現在の法規制では、放射線源の移動には多くの制約があり大気観測に大きな障害になる場合がある。欧米などで行われているように、放射線源の管理体制を十分に維持しつつ、移動の自由を柔軟にする措置が環境科学の推進の点から望まれる。

参考文献

Fehsenfeld, F.C., Huey, L.G., Sueper, D.T., Norton, R.B., Williams, E.J., Eisele, F.L., Mauldin, R.L. III., Tanner, D.J. Ground-based intercomparison of nitric acid measurement techniques, *J. Geophys. Res.*, 103, 3343-3354, 1998.

Horii, C.V., Tropospheric Reactive Nitrogen Speciation, Deposition, and Chemistry at Harvard Forest, *PhD Thesis* (http://www-as.harvard.edu/papers/text/cvh_thesis/), 2002.

Huey, L.G., and E.R. Lovejoy, Reactions of SiF₅⁻ with atmospheric trace gases: ion chemistry for chemical ionization detection of HNO₃ in the troposphere, *Int. J. Mass Spectrom. Ion Proc.*, 155, 133-140, 1996.

Huey, L.G., E.J. Dunlea, E.R. Lovejoy, D.R. Hanson, R.B. Norton, F.C. Fehsenfeld, and C.J. Howard, Fast time response measurements of HNO₃ in air with a chemical ionization mass spectrometer, *J. Geophys. Res.*, 103, 3355- 3360, 1998.

Komazaki, Y., Y. Hamada, S. Hashimoto, T. Fujita, and S. Tanaka, Development of an automated, simultaneous and continuous measurement system by using a diffusion scrubber coupled to ion chromatography for monitoring trace acidic and basic gases (HCl, HNO₃, SO₂, and NH₃) in the atmosphere, *Analyst*, 124, 1151-1157, 1999.

Komazaki, Y., S. Hashimoto, T. Inoue, and S. Tanaka, Direct collection of HNO₃ and HCl by a diffusion scrubber without inlet tubes, *Atmos. Environ.*, 36, 1241-1246, 2002.

Miller, T.M., J.O. Ballenthin, R.F. Meads, D.E. Hunton, W.F. Thorn, A.A. Viggiano, Y. Kondo, M. Koike and Y. Zhao, Chemical ionization mass spectrometer technique for the measurement of HNO₃ in air traffic corridors in the upper troposphere during the SONEX campaign, *J.*

Geophys. Res., 105, 3701-3708, 2000.

Miller, T.M., J.O. Ballenthin, D.E. Hunton, A.A. Viggiano, C.C. Wey, and B.E. Anderson, Nitric acid emission from the F100 jet engine, *J. Geophys. Res.*, 108, 4032, doi : 10.1029/2001JD001522, 2003.

Neuman, J.A., R.S. Gao, M.E. Schein, S.J. Ciciora, J.C. Holecek, T.L. Thompson, R.H. Winkler, R.J. McLaughlin, M.J. Northway, E.C. Richard, and D.W. Fahey, A fast-response chemical ionization mass spectrometer for in situ measurements of HNO₃ in the upper troposphere and lower stratosphere, *Rev. Sci. Instrum.*, 71, 3886-3894, 2000.

Neuman, J.A., L.G. Huey, R.W. Dissly, F.C. Fehsenfeld, F. Flocke, J.C. Holecek, J.S. Holloway, G. Hubler, R. Jakoubek, D.K. Nicks Jr., D.D. Parrish, T.B. Ryerson, D.T. Sueper, and A.J. Weinheimer, Fast-response airborne in situ measurements of HNO₃ during the Texas 2000 Air Quality Study, *J. Geophys. Res.*, 107, doi : 10.1029/2001JD001437, 2002.

Talbot, R.W., J.E. Dibb, E.M. Scheuer, J.D. Bradshaw, S.T. Sandholm, H.B. Singh, D.R. Blake, N.J. Blake, E. Atlas, and F. Flocke, Tropospheric reactive odd nitrogen over the South Pacific in austral springtime, *J. Geophys. Res.*, 105, 6681-6694, 2000.

US EPA, Determination of the strong acidity of atmospheric fine-particles (< 2.5 μm) using annular denuder technology, EPA/600/R-93/037, 1999.

Zondlo, M.A., R.L. Mauldin, E. Kosciuch, C.A. Cantrell, A. Christopher, F.L. Eisele, Development and characterization of an airborne-based instrument used to measure nitric acid during the NASA Transport and Chemical Evolution over the Pacific field experiment, *J. Geophys. Res.*, 108, 10.1029/2002JD003234, 2003.

◆◆◆ プロフィール ◆◆◆

1977年 4月 東京大学理学博士
 1979-80年 ドイツ大気環境科学研究所研究員
 1989年 4月 名古屋大学空電研究所 助教授
 1990年 4月 名古屋大学太陽地球環境研究所 助教授
 1992年 4月 名古屋大学太陽地球環境研究所 教授
 1995年 4月 名古屋大学太陽地球環境研究所・付属母子里観測所長 (併任)
 2000年 4月 東京大学先端科学技術研究センター教授
 対流圏エアロゾル、酸性化物質、オゾン、温室効果気体等の変動は、グローバルな気候変動や大気質を決める要因として重要である。その解明のために、エアロゾル化学組成や反応性気体濃度の高精度な計測技術を開発し、都市域での集中観測や航空機による国際共同観測を実施する。3次元化学輸送モデルや人工衛星データを用いた解析と組み合わせ、大気中の化学反応過程・輸送過程に関する定量的理解を進展させる。

内部被曝と滞留関数

身体（からだ）の中に放射能（を帯びた物質＝放射性物質）を取り込んだ時、全身または身体の一部が放射線に暴露される（被曝する）。

取り込みは経口（食べ物や飲み物への混入 intake）、吸入（吸気への混入 inhalation）、浸襲（傷口や皮膚を通しての直接的取り込み infiltration）の何れかによって齎される。

ある時刻に瞬間的に体内に取り込まれた放射性核種は、時間の経過と共に、放射性という自らの特異的性質による物理的自然消滅および代謝という身体の生理作用に基づく体外への排泄により、その残存量が減少する（時間についての単調減少関数）。

ある時刻に δ 関数的に摂取された単一量の放射性核種がその後時間 t を経過した時点で体内（あるいはある特定の部位や臓器）に残存している量を変数 t の関数として表現したものを滞留関数 Retention Function という。滞留関数 $r(t)$ が得られれば、摂取 $s(t)$ に対して、任意の時刻 τ における体内残存量 R が

$$R(\tau) = \int_0^{\tau} s(t)r(\tau-t)dt \quad (1)$$

として、また排泄率は関数 $R(\tau)$ を τ について微分して得られる導関数 $\dot{R}(\tau)$ として求めることができる。残存量は内部被曝線量の評価に、排泄率は透過性の低い放射線しか放出しない核種の残存量評価を測定によって行うときに、それぞれ必要となる情報である。

滞留関数を積極的に実験で求めることは不可能に近い。危険を伴う（？）人体実験

ということで、倫理的な縛りがあるからである。その意味で、たまに起きる“摂取事故”は貴重である。このようにして得られる実験式は変数（時間）についての冪関数 $r(t) \sim t^{-n}$ (2) となることが多い。

一方、理論的考察においては、多くの場合、時間 t についての指数関数モデル

$$r(t) \sim e^{-\lambda t} \quad (3)$$

が使われている。

後者(3)式は、相対排泄率、すなわち排泄率の体内存在量に対する比率、が時間変数に関係せず一定であるとの前提を採用したことになるのに対し、前者(2)式は、相対排泄率が時間経過とともに減少すること、すなわち体内のどこかに沈着が起きていることを示している。(3)式は、微分方程式

$$-\dot{N}(t)/N(t) = \text{const.} \quad (4)$$

ここで、 $\dot{N} := dN/dt$

の、(2)式は微分方程式

$$-\dot{N}(t)/N(t) \sim 1/t \quad (5)$$

の、それぞれ解となっているからである。

数学的には、冪関数を無限個の指数関数の和として表せないこともないが、従う方程式が(4)、(5)のように違うのであるから、これらの関数で記述されるモデルは異なる物理現象を表現するものと理解するのが素直というものである。

生命の営みを続けるには空気や水や食物の摂取を避け得ない。多くは体内滞留が“一過性”であるが、沈着性の放射性核種は排除や排泄の促進を人為的に行うことが難しいため、摂取の抑制を図るのが裁量の防護策となる。

サービス部門からのお知らせ

ガラスバッジの名前の変更依頼はどうするの？

ガラスバッジの氏名を変更する場合は、ご使用者変更連絡票に記載していただいております。お申し込み時にお届けしておりますご使用者変更連絡票をご利用ください。お手元に変更連絡票が無い場合、最寄の弊社営業所にご連絡ください。また、その他の連絡方法として測定依頼票の備考欄を利用してご記入いただいております。しかし、備考欄が小さくもあり記載項目が不足している場合が多く見受けられます。つきまして、次のガラスバッジ登録内容変更の6項目についてご記入いただきますようお願い申し上げます。

ガラスバッジ登録内容変更のための6項目

- | | |
|-----------------|---------|
| ① お名前（漢字、フルネーム） | ④ 性別 |
| ② お名前のフリガナ | ⑤ 職種 |
| ③ 生年月日 | ⑥ 変更年月日 |

また、毎月お届け票に次回発送日分のモニタのメンテナンスデータ入力締切日を記載していただいております。締切日を過ぎてのご依頼はデータ上は変更されておりますが、ガラスバッジのラベルにプリントしてあるお名前は変更前のお名前でお届けしております。

ご変更のご依頼はメンテナンスデータ入力締切日に間に合いますようお願いいたします。

(サービス課 横須賀礼子)

編集後記

●平成17年11月17日、国土交通省は「姉歯（あねは）建築設計事務所による構造計算書の偽造とその対応について」と題する発表を行いました。

世界でも類を見ないほどの地震多発国に住む私たちには、とても信じられないことが行われていたようです。該当する住宅を購入された方々の困惑は大変なものであったと思います。今後、このようなことが二度と起こらないよう、国、地方自治体、建築設計事務所、民間審査機関、建築施行事業者が丸となって、現行制度の見直しや倫理面での対応などを、国民が分かるような形で改善して欲しいものです。

●今月号は「学協会の倫理規定とは—日本原子力学会倫理規定を例として—」と題した記事を東京大学の班目春樹先生にご執筆いただきました。

倫理規定制定までの詳細な部分にまで至る検討内容や検討中における議論の焦点などについて書かれています。情報の公開についてはいろいろな考えがあるようですが、一長一短にはいかない困難な部分については編集者も考えさせられました。

また、「原子力分野におけるファントム利用の現状と

標準化に向けての課題」と題して、日本原子力研究開発機構の栗原 治 氏に、ファントムの定義から目的別のファントムの種類などについて解説いただきました。ファントムの標準化についても触れていただいております。

東京大学先端科学技術研究センターの近藤 豊 先生には「化学イオン化質量分析法による大気硝酸の測定—清浄なイオン源としての放射線源の重要性—」と題して執筆をお願いしました。窒素酸化物は生態系に悪影響を与え、地球温暖化物質でもあることは知られています。放射線は様々な分野に利用されていますが、大気物質の測定に利用されている例を紹介していただきました。

●昨年の東京は、夏からいきなり冬になった感がありました。秋の風情を楽しむ間もなく厳しい寒さがやって来たような印象です。皆様がお住まいの所はいかがでしたでしょうか。これからしばらくの間、寒い日が続きます。風邪などひかれませぬようお気をつけ下さい。本年も、皆様におかれましてはすばらしい年でありますよう祈念いたしております。（佐々木行忠）

FBNews No.349

発行日／平成18年1月1日

発行人／細田敏和

編集委員／佐々木行忠 小迫智昭 中村尚司 久保寺昭子 加藤和明 壽藤紀道 藤崎三郎

福田光道 野呂瀬富也 丸山百合子 窪田和永 佐野智久 大日向朱梨 森本智文

発行所／株式会社千代田テクノロ 線量計測事業部

所在地／〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル5階

電話／03-3816-5210 FAX／03-5803-4890

<http://www.c-technol.co.jp>

印刷／株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円（本体381円）