

放射線関連用語の一問題 “消滅ガンマ線”を例として (注1)ⁱ

1. “消滅ガンマ線”は誤用か？

最近ある文章の中で“消滅ガンマ線”という言葉を使ったら“消滅放射線”が正しいとの指摘を受けました。「ガンマ線は核から出て、X線は電子軌道から出る。陽電子消滅は核でも電子軌道でもないから消滅放射線という。(注2)ⁱⁱ」という説明です。こういう議論は以前からあったのですが、私これまで気にしないでいました。しかしたまたまIsotope News誌2005年1月号にも誤用の例として“核から出てこないのに消滅「ガンマ線」という表現”が挙げられているのを眼にし、周囲の人に意見を聞いたところ、キチンとしたコンセンサスのないままこのような発言をする人が居る中で、困惑している人も少なくないように思えました。そこで論点を提供する必要があると考え至りました。

“消滅ガンマ線”と“消滅放射線”が使われている実態はどうなっているのでしょうか。“消滅ガンマ線”は陽電子消滅の現象が明らかになった時から使われてきており、物理学の分野では今でも“消滅ガンマ線”が多いようです。私は陽電子消滅の分野に長く居たのですが、ここでは“消滅ガンマ線”が一般的です。ACAR: Angular Correlation of Annihilation Radiationのように“消滅放射線”という言葉も使われますが、“消滅ガンマ線”の方がより頻繁に使われています。“消滅放射線”は1980年ごろから現れています。手元にある書籍を見てみると、

- 1) “陽電子消滅放射線”を用いているもの
ガンマ線スペクトロメトリー (野口正安 日刊工業新聞社 1980)
- 2) “消滅放射線”を用いているもの
初級放射線 (石川友清編 通商産業研究社 1985)
放射線概論 (石川友清編 通商産業研究社 1990)
放射線用語辞典 (飯田博美編 通商産業研究社 H8, H13)
- 3) “消滅放射”を用いているもの
Q&A 放射線物理 (大塚勝徳著、共立出版、1995) (注3)ⁱⁱⁱ
- 4) “消滅ガンマ線”を用いているもの
放射線用語辞典 (飯田博美編 通商産業研究社 S53)
素粒子の化学 (学会出版センター 1985)
放射化分析ハンドブック (日本アイソトープ協会 2004)
- 5) “消滅ガンマ線”と“消滅放射線”混在
放射線応用技術ハンドブック (朝倉書店 1990)
- 6) “陽電子消滅でガンマ線が放出される”と記述しているもの
理化学辞典 (岩波書店、第4版1994、第5版2004)
化学辞典 (東京化学同人、第5版2003)

見られるように、“陽電子消滅放射線”とか“消滅放射線”とか云うように心がけているもの、こだわることなく慣用語“消滅ガンマ線”を多用するものがあり、多人数の共著となっている本では両者の混在を許している(何の説明もなく混在を許すのも、別の問題がありますが)というのが実状です。「放射線用語辞典」では、初版で“消滅ガンマ線”を使っていたところを、第4版、第5版では“消滅ガンマ線”という用語は適切でないとして明記して“消滅放射線”に言い換える記述をしています。

また、PET では数年前までは消滅ガンマ線という言葉を用いていましたが、今は“消滅放射線”を使っていることが多いようです。言葉を厳密に用いることにもっとも注意を払っているであろう政令では、例えば平成13年の「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則の改正要綱」では、「ガンマ線（陽電子消滅により発生する消滅放射線を含む）」という表現をしています。

さて、“消滅ガンマ線”は誤り（または不正確）なのでしょうか？“消滅放射線”は正しいのでしょうか？

“X線”、“ガンマ線”は科学発見の歴史を背負った言葉で、物理的な実体は高エネルギー電磁波です（注4）^{iv}。X線は電子軌道から、ガンマ線は原子核から出ると整理してみたら（注5）^v、陽電子消滅で放出される電磁波（注6）^{vi}はどちらでもないのだから別の名前にしなくてはならないとする潔癖はわからなくもないけれど、よって“消滅放射線”と呼ぼうというのは別に問題が出てきます。

先ず、用語は具体的であるべきであるという要請から見ると意味が曖昧になってしまっているのは失点です。ガンマ線と云えば少なくともそれが電磁波であることが分かるのに対して、“放射線”では電磁波だか、電子だか、重粒子だか分かりません。

第二に、色々な粒子が“消滅”することが知られている今となつては、陽電子消滅ガンマ線に“消滅放射線”という言葉を用いてはめぐることは時代遅れとさえ云えます。陽電子消滅も高エネルギー領域で起こればミュオン対、重粒子対などの放射線が出るのですから、“消滅放射線”という言葉はこれらをも表現するために予約しておくべきです。“消滅放射線”という言葉を用いて陽電子消滅ガンマ線に使うと決めてしまうと、別の新しい問題が派生するのです。

反陽子が消滅する際に放出される放射線については、どのような言葉を使うのかという問題もあります。反陽子は、陽子と合体し、クォークが再配列していくつかの中間子が放出されます。これは“消滅”なのかという問題が反陽子の側にあり得ますが、現在は“反陽子消滅”と呼ばれています。従ってここで出てくる中間子も“消滅放射線”です。“消滅放射線”という言葉が実際にこのような部分にも広がっていくのかどうか分かりませんが、少なくとも“消滅ガンマ線”に等価交換できる言葉でないことはこの例で明らかです。

“消滅ガンマ線”に“消滅放射線”という言葉を用いて考えるのは「ガンマ線は核から出てくる」と限定してしまったことを追いかけて修復するの必要に迫られて持ち出されたに過ぎません。その修復たるや、言葉の上に言葉を上塗りした中世の神学の如く、まるで収まりがつかいません。このことから、私たちは、言葉を弄んではいけないという教訓を学ぶべきでしょう。今私たちは、X線（連続X線、特性X線）、制動放射X線、放射光、ガンマ線、消滅ガンマ線、レーザー、ミュオンニックX線など多様な高エネルギー電磁波（光子）を持っています。それぞれ好き勝手な名前をつけられて育ってしまっており、本質的に同じものであるにも関わらず状況が異なるが故にまたがって定義されているものもあって、論理的に整理されているとは言い難いものがあります。しかし、それらを呑み込んでしまった上である準安定状態にあって、美的ではないけれども、格別の不都合は起きていません。このような状態の何を改良したいのかという積極的な意味が見えないまま、“消滅ガンマ線”のところだけをいじってみても、この準安定状態を活性化させることは出来ないでしょう。そのような活性化のためには、より本質的な動機付けが必要です。

とりあえず“消滅ガンマ線”の言葉の問題を混乱少なく収めるのは簡単です。ガンマ線は「励起エネルギー状態にある原子核がより低い状態または基底状態に移るとき、または陽電子が消滅するときに生ずる電磁波である」（「原子力百科事典 ATOMICA」の原子力用語辞書から）粒子が

消滅”とあるところを“陽電子が消滅”に変更して引用)と定義すればよいのです。どうしても区別したいなら“消滅光子”という言葉がありますが、現状を変える積極的な意義が少ないとの理由で、現状に近いままで良いでしょう。

物事の理解も言葉も生き物です。そして我々の語彙は自然を正確に表現するのに十分ではないという本質的な問題が横たわっています。言葉を出来るだけ厳密に使うことは、我々が知識を共有するための努力目標ですが、それは完璧であることはあり得ず、ましてや言葉を固定するといずれそれに抵触する事柄が出てくることは裏腹にあることです。

2. なぞなぞ遊び

前節冒頭に書いたように、消滅ガンマ線、消滅放射線という言葉がどのように使われているのかを聞き回っている中で、ある方が、放射線取り扱い主任者試験の中で下記の設問があったことを教えてくださいました。

問 放射性核種の壊変形式と壊変に伴う線放出の有無について、正しいものの組み合わせは次のうちどれか。				
	核種	壊変形式	線放出の有無	
A	^{11}C	+	無	
B	^{35}S	-	無	
C	^{57}Co	EC	無	
D	^{63}Ni	EC	無	
1: ACD	2: AB	3: BC	4: D	5: ABCD

このようなクイズもどきの正誤組み合わせ問題は、(選抜試験ならともかく)資格試験のための問題としてはふさわしくないのですが、そのことはさておきます。さて、普通に知識を持っていて、意地悪問題に不用意な人はA、B、C、Dはそれぞれ誤、正、誤、誤と考える筈ですが、選択肢には該当するものがありません。そこで悩ましいことになってしまいます。

ところで、この問題の正解は2ということになっているのだそうです。ということはAは正なのであり、 ^{11}C は+壊変し、線放出は無いとしなくてはならないとの認識を我々は強要されることになるのです。 ^{11}C があるところには必ず“消滅ガンマ線”がありますから、常識的にはとても思い至らないことです。

設問を注意深く読み直すと“壊変に伴う線放出”と書いてあります。ここに落とし穴を作っているのですね。 ^{11}C の壊変に伴って放出されるのは陽電子であって、消滅ガンマ線は壊変に直接伴っているものではないとの理屈のようです。言葉の意味或いは発音のヴァリエーションを使ってはぐらかす(例:一休さんあるいは彦一どん、“このはしわたるべからず”の立て札に抗して、端でなく真ん中を渡る)のは頓知やなぞなぞ遊びによく使う手ですが、それとよく似ています。“**に伴う”という表現が因果関係のどこまで及ぶと理解するのか、人によって語感が違います。消滅ガンマ線が+壊変に伴っているという語感を持つ人も多いでしょう。ですから、“伴う”のように一意的でない言葉を弄んで頓知・なぞなぞまがいをするのは、科学ではやってはいけないことです。一休さんが小役人に対抗するために頓知をやるのは応援したいけれど、科学でなぞなぞ遊びをしてやっつけるべき相手が学習者や受験者だったりするのは、許されないことです。

問題を複雑にするのは、この設問が、前節で記したような、“511keV光子は核から出てくるのではないからガンマ線でない”という理屈にも結合してしまう可能性があることです(この設

問を作った人はそのように意図していないと思われませんが、核から出ないのはガンマ線でないという命題が半ば流布している現在、混乱は避けられません。

このように、A を正とする根拠が2つあり得て、片方がなぞなぞ、もう一つが独りよがりの定義付けであったりしては、分かりやすく知識を共有することは不可能になってしまいます。設問者がなぞなぞ好きなのかとか、“核から出るのがガンマ線”派かとか考えながら回答しなくてはならなくなるのだとしたら、それはもはやテレビクイズ番組と同列に並ぶしかありません。

3 . 何が問題か

以上、“消滅ガンマ線”が、独りよがりの定義付けであったり、なぞなぞもどきに取り扱われたりしていることを指摘しました。そこには、術学趣味が色濃くあると云って過言ではありません。この術学趣味は、仲間内でクイズをして遊ぶことはできても、科学を分かりやすく語ることに於いて失格です。そこに科学が嫌われる一端を見ることさえできるように思います。科学で用いる言葉を出来るだけ厳密に使うことは、我々が知識を共有するための努力目標です。しかし、当人は厳密なつもりでも、独りよがり（あるいはグループよがり）の言葉では、知識の共有には程遠いことです。

このように、専門家の間でさえ了解しあえる言葉で話す努力が行われていない中で、一般の人達に科学の知識を伝えることなど、望むべくもないことです。近年「科学離れ」が大きな問題とされています。それは一般の人の側にも原因があることもあるのですが、科学を業とする人達に大きな責任がある場合の一例として、今回の問題を引きずり出すことができます。独りよがりの科学用語を使ったり、なぞなぞごっこをして面白がるような科学者に一般の人達がついていくことはないでしょう、あるいは顔をしかめながら、やむを得ずついていくのでしょうか。科学の専門の側に居る人は、言葉を弄ばずに分かりやすく使うことが期待されています。

“消滅ガンマ線”を糸口にして入った問題ですが、事は、科学者の表現能力、分かりやすく話そうという努力、の問題に関わっているようです。

i 本文は「放射化分析研究会」18号(2005年4月)への原稿をアップデートしたものです。また、第1節に相当する部分を圧縮したものは、「Isotope News」誌4月号(2005)に掲載されています。

ii Diracの“真空モデル”によれば、真空とは、負エネルギー状態を電子が埋め尽くしている状態で、そのどれかの電子が正エネルギー状態に遷移するのが電子対生成であり、このとき真空に空けられた孔が陽電子です。陽電子消滅は以上の逆過程です。ここでは、陽電子生成や消滅は電子のエネルギー準位の問題なのです。とすれば、「ガンマ線は核から出て、X線は電子軌道から出る」と定義するなら、陽電子消滅の結果放出されるのは線ではなくて、X線であることとなります。今までそんなことを云った人はないようですが。

このことから分かるように、線が核から出る、X線は電子から出る、陽電子消滅電磁波はどうだ、という議論は、モデル依存のペダントリーに陥っています。

iii 「Q&A 放射線物理」では、“陽電子は消滅放射を生ずる”、“消滅放射は陽電子消滅あるいは電子対消滅とも呼ばれる”と記述して、“消滅放射”というなじみの少ない言葉をことさらに用いています。その上で、“消滅放射”の結果出てくる放射線を“消滅放射()線と称している”と記述しています。しかし、別のページでは“陽電子は、、電子と結合して(この言葉もおかしい)線を2本放射する。この消滅線は、、”とうっかり“消滅線”と云ってしまっているのはご愛敬です。

(ここで「Q&A 放射線物理」のあげあし取りをしましたが、この本に記載されている内容は類書にない試みが多く、大変楽しめるもので、内容的には好著です。言葉の問題から離れて、この本は大いに推奨したいと思います。)

iv 1895年Roentgenは陰極線管(クルックス管)から未知の線が出てくるのを見つけ、それをX線と名付けたのですが、それが電磁波であることが分かったのは1912年です。一方1898年頃、Rutherfordはウランやトリウムなどの天然の放射性物質から出ている放射線には性質の異なる少なくとも2種類のものがあることを明らかにし、透過力の弱い方を線、透過力のより強い方を線と命名しました。線は磁場で容易にかつ負電荷の向きに曲げられることはS. MayerとE.R. von Schweidlerが始めて(1899)見いだしましたが、BecquerelやCurie夫妻も同じことを観測して、電子であることがほぼ確実とされました。線が数千ガウスの強い磁場で正電荷の向きに曲げられることは1902年RutherfordとOwenによって観測されました。次いで、線よりもさらに透過力が大きい放射線も存在することがP.U. Villardが発見し、1903年Rutherfordはそれを線と名付けたのです。線が電磁波であることが分かったのは、Rutherfordとダコスタ・アンドラードが線を結晶に当てたときの散乱の波長を測定する実験によってでした(1914年)。

ところで、線は透過力の小さな順になっていますが、これはたまたまの幸運であったことが上記の説明から分かることでしょう。もし1898年にRutherfordが透過力の強い方(電子)を線と名付けていたら、線は放射線(或いは粒子)のどのような物理的な特性の順序付けにも馴染まず、我々を悩ますことになったでしょう。もしかしたら、線という言葉自体、有用とみなされず忘れられていたかもしれません。

(脱線になりますが)フランス・ナンシー大学のルネ・ブロンロー教授は、X線管から出た放射線の中に、石英のプリズムで曲げられる未知の放射線を検出したと発表しました(1903年)。既にそのときには線は石英を直進貫通することが知られていたため、それは線ではない新しい放射線と考えられて、N線と名付けられました。Becquerelの線の向こうを張りたいフランスの科学者はN線に熱中し、N線はX線管だけでなくガス灯や人間の死体に至るまでいろいろなモノから出ると報告されたりしたのですが、今N線は、間違い科学の例として科学史に名を残しています。

v X線と線の違いはエネルギーにある(線の方がより高エネルギー)と思っている人も、原子物理・核物理分野の人に少なくありません。原子の電子軌道から出てくるX線は、原子核のエネルギー準位から出てくるガンマ線よりはエネルギーが低いので、そのような認識も可能でした。高エネルギー加速器が多く使われるようになり、線エネルギーを越える数十MeVの制動放射X線も当たり前になるに及んで、そのような認識は正しくなくなっていますが、線の方がより高

エネルギーという語感が残っていることは、注意しておく必要があるでしょう。

^{vi} 陽電子消滅という現象が認識されたのは、云うまでもなく、ディラックが空孔理論を提唱し（1930年）、アンダーソンが宇宙線の中に陽電子を発見（1932年）してからです。核物理学では陽電子消滅によって（特殊な場合に1つ）通常2つ又は3つ、（より少ない確率でそれ以上の数の）photonが放出されると表現されることが多く、その限りでは言葉の適不適切が問題になることはありません。しかし、陽電子消滅の分野では、gamma-quanta、gamma-rays という言葉もよく使われています。