

医療分野で活躍する放射性同位体

AMANO Ryohei

天野良平

金沢大学医学部保健学科 教授

放射性同位体 (RI) の利用抜きで現代医学の診断と治療を語ることはほとんど不可能である。極少量の短寿命 RI を投与し体の外から放射線検出器で体内における RI の循環動態をキャッチすることによって、患者に苦痛も障害も与えずに病気の診断や脳機能の解明ができる。また、ガン細胞は正常細胞よりも放射線に弱いので、病巣に放射線源を挿入したり RI を投与・集中させて治療することが行われている。

1 生体のなかを描画する Tc-99 m

病気の診断に用いられる RI の主なものは、 ^{67}Ga , $^{81\text{m}}\text{Kr}$, $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , ^{123}I , ^{133}Xe , ^{201}Tl である。なかでも、人工放射性元素テクネチウム ($_{43}\text{Tc}$) の同位体 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の使用量は群を抜いて多い。そこで、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を用いた診断の様子をまず紹介したい。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ の利用が多い理由は、その核特性 (半減期 6 時間, γ 線エネルギーは 140 keV と低い) が体内の RI 分布をイメージ描画装置で観るのに好都合で放射線被曝が少ないことと、Tc は同族の Mn に似て種々の酸化状態をとるので多様な標識化合物¹⁾ (表 1) を合成できるという化学的性質による。通常、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は小形アルミナカラムに吸着された親核 ^{99}Mo (半減期 66 時間) から β^- 壊変により生成するものを、1 日 1 回ずつ生理食塩水でカラムから溶離して得られる。溶離された $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の化学形は過テクネチウム酸イオン (TcO_4^-) で、Tc は VII 価である。多様な $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識化合物は、この TcO_4^- を塩化第一スズ (SnCl_2) 水溶液で還元して Tc(III), (IV), (V) とし、配位子と化学反応させて合成される

表 1 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識化合物とその対象臓器。

臓器	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識化合物
脳	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA, $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$
脳血流	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD
甲状腺	$^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$
肺	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA
心筋血流	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI
心筋	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ピロリン酸
心プール	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HSA, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -赤血球
肝臓	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -フチン酸, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Sn コロイド
肝・胆道	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -PMT
唾液腺	$^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$
メッケル憩室	$^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$
消化管出血	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -赤血球
腎臓	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG ₃ , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA
精巣	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HSA
脾臓	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Sn コロイド
骨	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMDP

(SnCl_2 と配位子の混合物を入れた容器へ、 TcO_4^- 溶離液を加えて一振りするだけで、ほぼ 100% の収率で合成される)。生体に投与された $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識化合物は配位子とほぼ同じ生体内動態を示す。その動きは $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の 140 keV γ 線を体外から計測し画像化することによって刻々と追跡される。写真 1 に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ MDP (メチレンジホスホン酸) による骨画像を一例として示す。X

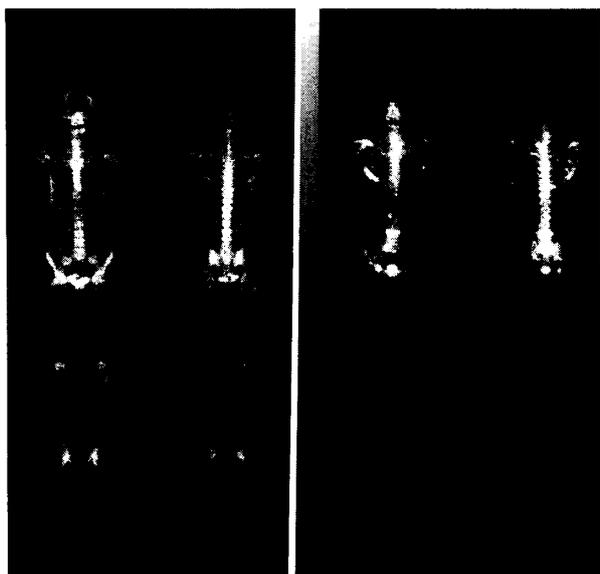


写真1 ^{99m}Tc -MDPによる全身スキャン図。リン酸化合物 ^{99m}Tc -MDP を用いて骨の無機質代謝を画像化している。30~50%のCa量の増減がないと診断が困難な骨X線像よりも病変を早期にとらえている。健常者(左)に比べて患者(右)に ^{99m}Tc -MDP の異常集積が数カ所見られる(写真は、金沢大学核医学診療科のご好意による)。

線透過像よりも早期に病変の診断を可能にする貴重な情報が得られている。

2 病気を癒す Ra-226 と Ir-192

放射性元素ラジウム (^{88}Ra) は、「病気を治す夢の線源」として発見直後から医療に使われ効果を上げた。今日でも密封された RI 小線源は、ガン治療のための組織内挿入照射に無くてはならない。このように利用される線源 RI には、 γ 線源としては ^{226}Ra のほかに ^{60}Co , ^{192}Ir , ^{137}Cs があり、 β 線源としては ^{90}Sr がある。 γ 線源にはいくつかの条件が要求されるが、最近の傾向としては ^{192}Ir の利用が推奨されている。 ^{192}Ir は、半減期が74日と比較的短い、平均 γ 線エネルギーが380 keV と低く放射線遮蔽が容易で、また金属 Ir は柔軟性に富み取り扱い易い線源をつくることのできる利点がある。 ^{192}Ir は口腔癌を中心に、肺癌、膀胱癌、前立腺癌、脳腫瘍の治療にまで適用が拡大している。

一方、RI を病巣に集めて治療する方法の利用

表2 脳機能測定のための ^{11}C 標識化合物。

・受容体測定用標識化合物	
D1 ドーパミン受容体	^{11}C -SCH 23390
D2 ドーパミン受容体	^{11}C -NMSP, ^{11}C -FLB 457
ベンゾジアゼピン受容体	^{11}C -Ro 15-1788, ^{11}C -Ro 15-4513
アセチルコリン受容体	^{11}C -NMPB
5HT ₂ セロトニン受容体	^{11}C -NMSP
・トランスポーター測定用標識化合物	
セロトニントランスポーター	^{11}C -McN 5652 X, ター ^{11}C -Cyanoimipramine
・酵素活性測定用標識化合物	
アセチルコリン・エステラーゼ	^{11}C -MP 4 A

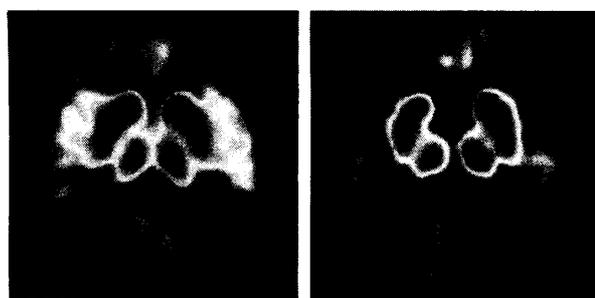


写真2 アセチルコリン・エステラーゼ活性の脳内分布図。健常者(左)とアルツハイマー病患者(右)で脳への ^{11}C -MP 4 A の集積を比較して、患者では大脳皮質でアセチルコリン・エステラーゼ活性が低下していると考えられている(写真は、放医研の入江俊章博士のご好意による)。

も拡大している。甲状腺癌治療用の Na^{131}I や転移性骨腫瘍疼痛緩和用の $^{89}\text{SrCl}_2$ が代表的な放射性薬剤である。前者は甲状腺に I^- イオンが集積することを、後者は Sr^{2+} イオンが Ca^{2+} と置換して骨に集積することを利用している。

3 脳機能を写す C-11

人体の秘境と言われる脳の科学の分野でも RI が活躍している。ここで用いられるのは陽電子 (β^+ , ポジトロン) 放出 RI (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F など) で、半減期が短いので院内の小型サイクロトロンで製造される。目的に合った標識化合物の迅速合成がキーポイントで、たとえば ^{11}C (半減期20分) で標識した高分子量の有機化合物を30分程度で合成することなどが行われている。投与した RI をポジトロン CT (PET) カメラで体外

から測定して脳内の神経伝達物質や酵素活性に関する情報を得るなどして分子レベルでの脳機能の解明が進んでいる。日本では放射線医学総合研究所(放医研)などで、このようなRI利用による脳科学研究が行われている。放医研では、表2に示すような ^{14}C 標識化合物を用いた独創的な研究が行われている²⁾。その成果の一部を、健常者とアルツハイマー病患者の脳内コリンエステラーゼ活性をアセチルコリン類似化合物 ^{14}C -MP4Aを用いて測定した例で示す(写真2)。

今日、RIを使った診療を一生涯受けない人はきわめて少ないであろう。むやみに怖がることな

く正しくRIを利用すれば利益は非常に大きい。

参考文献

- 1) 西村恒彦, 井上修, 核医学, p 31-59, 医歯薬出版 (1996).
- 2) 特集“脳科学”, ファルマシア, 11月号, p 1203-1207 (1997).



あまの・りょうへい

筆者紹介 [経歴] 1973年金沢大学理学部化学科卒業, 75年同大学院修士課程修了, 77年東北大学大学院工学研究科博士課程退学。同年金沢大学医療技術短期大学部講師, 81年同校助教授, 95年金沢大学医学部助教授, 96年同校教授・現在に至る。工学博士。[専門] 放射線基礎科学。[趣味] 自然と遊ぶこと。[連絡先] 920-0942 金沢市小立野5-11-80 (勤務先)。



▷ 「化学実験虎の巻」欄原稿・アイデア募集

本欄では原稿ならびにアイデアを募集いたしますので、ふるってご応募下さい。また、本稿に関するご要望、ご意見をお寄せいただければ幸いです。

「化学実験虎の巻」

ご応募に当たっては、本誌所定の“「化学実験虎の巻」欄執筆データ案”を作成し、資料を添付してお送り下さい。企画委員会でご執筆事項のお願い等を追加したうえで、改めてご連絡申し上げます。

「化学実験虎の巻—便利な実験器具・道具」

市販されているいろいろな器具は、使う人により便利な面白い使い方があり、またちょっとした工夫で全

く別の用途に転用されたりしていると思います。ブンゼバーナーやリービッヒの冷却管とまではいなくても、先生方の独自の工夫の器具もあると思います。それらを、1ページ分でも、2, 3行でもお知らせ下さい。

楽しい化学教育ができるように、多くの方がアイデアをお寄せ下さることを期待しています。

連絡先 101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-5
社団法人 日本化学会 化学と教育編集委員会
(☎ 03-3292-6164)

▷ 「小・中・高のページ」欄原稿募集

本誌を皆様の共通の場とする目的をもって、“周期律”欄よりもさらにお気軽にご投稿いただくために本欄があります。

本欄は化学(理科)教育に関することであれば、どのような話題でもかまいません。ふるってのご投稿をお待ち申し上げます。

話題の例としてはつぎのような項目が考えられます。

1) ユニークな理科教室の紹介, 2) 演示実験の工夫, 3) 教具・教材の工夫, アイデア, 4) 別の分野で用いられている器具の化学実験への利用法, 5) 教え方の工夫, アイデア, 6) 化学に関わる教務的なアイ

デア(レポートの評価方法, ノートのとり方など), 7) 理科教室の構造上の不便な点とそれを改良した工夫, 8) その他(教科書の疑問点など)。

原稿分量 24字×75行以内(図・表・写真とも)。A4判用紙1枚につき30行, 行間を広めにワープロ印字のこと。図・表は1件1枚の用紙を用い, 本文中には書き入れないこと。また, 図表の入る位置は本文左側余白に指示し, 本文中には, そのスペースを空けないこと。

原稿送付先 101-0062 東京都千代田区神田駿河台1-5
社団法人 日本化学会 化学と教育編集委員会
(☎ 03-3292-6164)