

4. 1. 3 ヒトにおける炭素代謝に関する研究

Study on Carbon Metabolism in the Human Body - Excretion of Carbon after Ingestion of Fat and Sugar

増田 毅, 松下 兼作, 多胡 靖宏, 中村 裕二

環境シミュレーション研究部

Tsuyoshi MASUDA, Kensaku MATSUSHITA, Yasuhiro TAKO, Yuji NAKAMURA

Department of Environmental Simulation

Abstract

In the safety assessment made around the spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Aomori, ^{14}C is expected to be the biggest contributor to radiation dose received by the neighboring population, among radioactive nuclides released from the plant. The radiation dose due to ^{14}C reaches up to about one third of the total annual radiation dose which is estimated as 22 μSv . However, the estimate of ^{14}C dose is thought to be rather conservative, because of overestimation of ^{14}C dose conversion factor. The overestimation of the dose factor might be largely due to excessive simplification of the metabolic model of ^{14}C in the human body. The objective of the present study is to clarify the carbon metabolism experimentally, especially the biological half-time, of ^{14}C in the human body. In the experiment, stable carbon isotope (^{13}C) was used as a substitute tracer for ^{14}C . Following previous experiments on carbon metabolism through ingestion of protein, the carbon dynamic in the human body was examined after ingestion of fat and sugar.

Changes in ^{13}C isotopic ratios were measured in breath air, urine, feces and serum in three adult males over 16 weeks after oral administration of ^{13}C -u-palmitic acid and glucose, respectively. The amount of ^{13}C administered corresponded to 1,000 mg of ^{13}C each, in both experiments using palmitic acid and glucose, independently. The isotopic ratios of ^{13}C in breath air showed the highest value immediately on the day of administration of the chemicals, while those in urine, feces and serum had the highest values one day later after the administration. After showing the highest values, ^{13}C isotopic ratios in all of these materials gradually decreased. The changes in ^{13}C isotopic ratios were characterized by exponential functions of time having two components, for the ingestion of both chemicals. The retention times of these two components were estimated to be 1.3 and 35 days for breath air, 0.65 and 41 days for urine, and 2.0 and 110 days for serum, respectively, for the ingestion of palmitic acid. Those for the ingestion of glucose were 0.67 and 21 days for breath air, 0.67 and 23 days for urine, and 3.0 and 19 days, respectively.

1. 目的

大型再処理施設の安全審査においては、食物からヒトへの ^{14}C 移行蓄積による預託実効線量を評価するための線量係数として $5.6 \times 10^{-10} \text{ Sv Bq}^{-1}$ が使用された。この線量係数は、国際放射線防護委員会(ICRP)により設定されたヒト炭素経口摂取モデル（公衆が経口摂取した放射性炭素の体内代謝半減期を 40 日

とする)をもとに求められたものである(ICRP, 1981)。このモデルは、 ^{14}C 代謝に関する実験データに基づくものではなく、安全評価のために ICRP により保守的な評価をするためのモデルとして仮定されたものである。本試験では、より現実的な線量評価を行うために、平成 21 年度までに 3 大栄養素として経口摂取した場合のヒトへの炭素移行に関するデータを

収集する。平成 20 年度は、 ^{13}C 標識脂質（パルミチン酸）および ^{13}C 標識糖質（グルコース）として ^{13}C を経口摂取した場合の ^{13}C の移行及び体外への排出に関するデータを収集することを目的とした。

2. 方法

^{13}C 標識脂質（パルミチン酸）及び ^{13}C 標識糖質（グルコース）投与実験には、健康な日本人男性 3 名（ 37.3 ± 0.6 歳、 71.8 ± 4.2 kg 及び 39.7 ± 7.5 歳、 68.1 ± 10.2 kg）を用いた。使用した U- ^{13}C -パルミチン酸ナトリウム及び U- ^{13}C -D-グルコース（99 atom%，ケンブリッジアイソトープ社）は、含まれる炭素がすべて ^{13}C で標識されたものである。

^{13}C 標識脂質（パルミチン酸）、 ^{13}C 標識糖質（グルコース）、いずれの投与実験の被験者に対しても、それぞれに ^{13}C を 1000 mg 含む量を昼食時 12:00 に経口投与した。投与前 2 週間から投与後 4 ヶ月までの期間にわたり、試料として呼気、尿、便、血液を採取した。試料の全炭素に対する ^{13}C 比は質量分析装置（Delta V, Thermo Fisher Scientific, ^{13}C 測定器精度 0.0002 atom%）により求めた。

全ての被験者からは立会人立ち会いのもと、書面でインフォームドコンセントを得た。 ^{13}C 投与実験は、倫理と安全を審査する委員会による承認を受けた後に実施した。

3. 成果の概要

いずれの投与後にも、1 日以内の排出呼気において ^{13}C 同位体比の上昇が見られ、その後減少する傾向が観察された（Fig. 1）。 ^{13}C 同位体比が上昇した分の値をプロットするとそのピークになる値が投与形

態によって異なった。 ^{13}C 標識糖質（グルコース）での投与群では（ 0.725 ± 0.0785 atom%）、 ^{13}C 標識脂質（パルミチン酸）投与群の（ 0.315 ± 0.124 atom%）であった。

一方、1 日後以降の排出呼気、尿、便の ^{13}C 同位体比上昇分をプロットするとその値は減少傾向を示し、また、その減少速度が途中で変化するために縦軸を対数にとったグラフ上では折れ線状になっていた。その傾向は投与形態により大きくは異ならなかった（Fig. 2A-C）。ICRP Publ. 23（ICRP, 1975）によると、炭素の排出フローは 90%が呼気であり、尿、便、その他へのフローはそれぞれ 1.6, 2.3, 及び 6%である。これを考慮すると、初期の呼気排出における ^{13}C 同位体比の差の影響が大きいため、体内の残留率は ^{13}C 標識糖質（グルコース）投与の場合より ^{13}C 標識脂質（パルミチン酸）での投与の場合大きくなると考えられる。

投与後 1 日目以降、呼気、尿、及び血清中の、 ^{13}C 同位体比の減少を 2 成分（Phase I 及び II）の指数関数で近似し各半減期を得た（Table 1）。これらのデータを得たことにより、脂質あるいは糖質により ^{13}C を摂取した場合の体外への排出を予測できるようになった。

引用文献

- International Commission on Radiological Protection (1975) Report of the Task Group on Reference Man. In ICRP Publ. 23. Pergamon Press, Oxford, England.
- International Commission on Radiological Protection (1981) Limits of intakes of radionuclides by workers, part 3. In ICRP Publ. 30. Pergamon Press, Oxford, England.

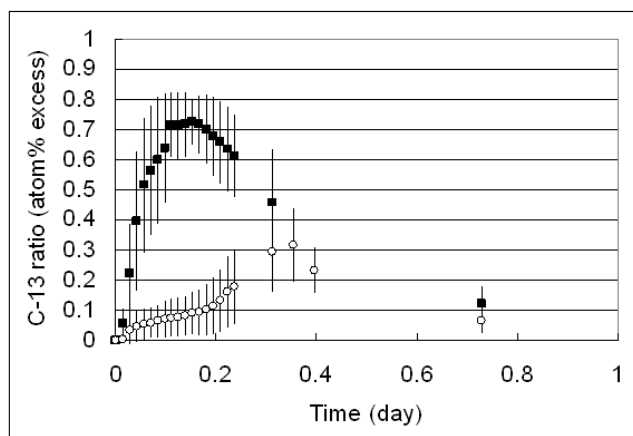


Fig. 1 Changes of ^{13}C ratio in breath (24 hours).

■: Glucose, ○: Palmitic acid.

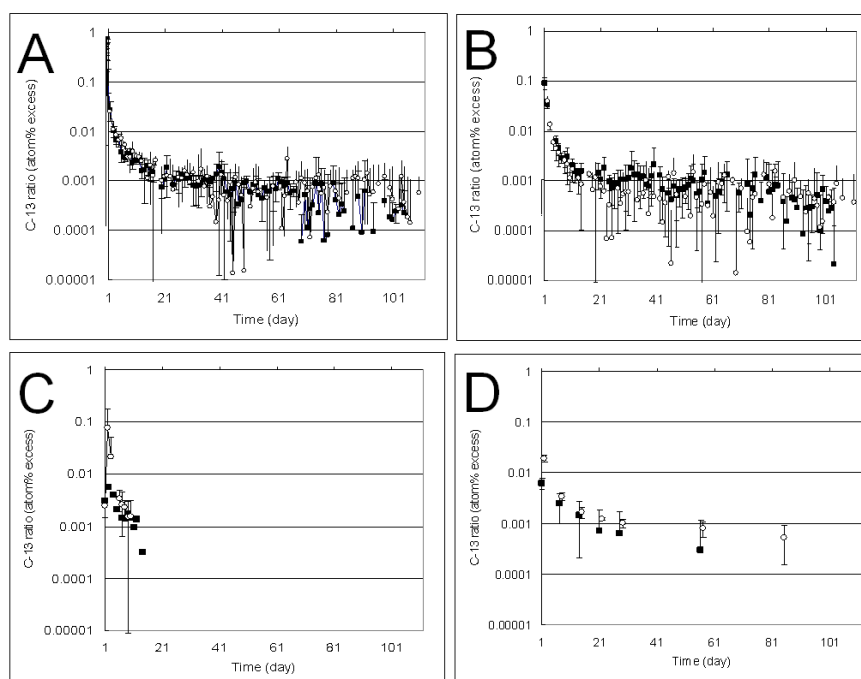


Fig. 2 Changes of ^{13}C ratio during 4 months after administration.

■: Glucose, ○: Palmitic acid. Panel A: Breath, B: Urine, C: Feces, D: Serum.

Table 1 Half-lives of ^{13}C enrichment (days).

		Phase I	Phase II
Palmitic acid	Breath	1.3	3.5×10
	Urine	6.5×10^{-1}	4.1×10
	Serum	2.0	1.1×10^2
Glucose	Breath	6.7×10^{-1}	2.1×10
	Urine	6.7×10^{-1}	2.3×10
	Serum	3.0	1.9×10