資 料

試料中 ^{210}Pb (RaD)- ^{210}Bi (RaE)- ^{210}Po (RaF)
放射能比の移り変り阿部史朗^{*1}, 阿部道子^{*1}

(1976年10月29日受理)

Compound Decay Patterns of ^{210}Pb (RaD)- ^{210}Bi (RaE)- ^{210}Po (RaF) SeriesSiro ABE^{*1} and Michiko ABE^{*1}

Many series nuclides contained in environmental substances were conducted by both physical decay process and some dynamical processes that consist of physical, chemical and biological processes. Physical decay process is remained after the stop of the dynamical processes by a sampling procedure and so on. Radiochemical determination of series nuclides, such as ^{210}Bi and ^{210}Po in a sample is done at the very state.

The authors calculated and described the decay charts of ^{210}Pb - ^{210}Bi - ^{210}Po series at several given initial radioactivity ratios of these nuclides in this report.

I はじめに

環境試料等に含まれる ^{210}Bi , ^{210}Po を放射化学的に定量しようとするとき, サンプルング終了時から分離までの時間, 計数試料作製時から計数終了までの期間が問題になる。 ^{210}Bi , ^{210}Po が含まれている試料中には, ^{210}Pb の存在が当然予想され, サンプルングまたは計数試料作製後時間とともにこの ^{210}Pb から生じた ^{210}Bi , ^{210}Po 量が, はじめの量につけ加わってくるからである。すなわち, 試料中の ^{210}Bi , ^{210}Po の適切な定量には, 適当な時間帯の存在が考えられる。 ^{210}Bi , ^{210}Po 測定上の最適な時間帯を選ぶには, これら核種の放射能比の時間的变化の概要を知ることが必要である。また一方, そのような変化の様子を知っていれば, 積極的に有利な定量の開発が可能かもしれない。

本報告では, ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po の放射能比がはじめ

にある値で与えられたとき, それからの時間経過とともに, これらの放射能比がどのように変っていくか計算によって調べ, 直観的な形で図示した。

II 計算式と定数

計算式は, よく知られた Batemann 方程式である。各変数を Table 1 に示すとおりに決めれば, ^{210}Pb (RaD), ^{210}Bi (RaE), ^{210}Po (RaF) の各々に対する Batemann 方程式は, 次の(1), (2), (3)で示される。

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3 \quad (3)$$

なお ^{210}Pb の先祖の核種からの寄与は, 近い先祖の半減期の小ささと希ガス経由とを考え合わせて, ふつう問題にならないと考えられる。すなわち, ここでは ^{210}Pb からの系列のみを扱えば十分であろう。

^{*1} 放射線医学総合研究所環境衛生研究部; 千葉市穴川 4-9-1 (〒280)
Division of Environmental Hygiene, National Institute of Radiological Sciences; 9-1, Anagawa 4-chome, Chiba-shi.

Table 1 Variables describing $^{210}\text{Pb}(\text{RaD}) \rightarrow ^{210}\text{Bi}(\text{RaE}) \rightarrow ^{210}\text{Po}(\text{RaF}) \rightarrow ^{206}\text{Pb}(\text{RaG})$ decay state.

time $t =$		0 (initial)		t (arbitrary)	
nuclide	decay constant	number of atoms	activity	number of atoms	activity
$^{210}\text{Pb}(\text{RaD})$	λ_1	N_{10}	$A_{10} = \lambda_1 N_{10}$	N_1	$A_1 = \lambda_1 N_1$
$^{210}\text{Bi}(\text{RaE})$	λ_2	N_{20}	A_{20}	N_2	A_2
$^{210}\text{Po}(\text{RaF})$	λ_3	N_{30}	A_{30}	N_3	A_3

Table 2 Half lives and decay constants of ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po .

Nuclide	$^{210}\text{Pb}(\text{RaD})$	$^{210}\text{Bi}(\text{RaE})$	$^{210}\text{Po}(\text{RaF})$
Half life	21 y	5.01 d	138.4 d
Decay constant	0.0000904	0.138	0.00501

Table 3 Assumed initial activity ratios of ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po .

Nuclide	$^{210}\text{Pb}(\text{Rad})$	$^{210}\text{Bi}(\text{RaE})$	$^{210}\text{Po}(\text{RaF})$
Activity ratio	1.0	0~13.0	0~13.0
Step	—	0.1	0.1

この (1), (2), (3) 式の解を放射能 (壊変数) の変数で書けば, 次の (4), (5), (6) 式になる。

$A_1 = A_{10}e^{-\lambda_1 t}$ (4)

$A_2 = A_{10}e^{-\lambda_1 t} + (A_{20} - A_{10})e^{-\lambda_2 t}$ (5)

$A_3 = \frac{\lambda_2 \lambda_3 A_{10}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} e^{-\lambda_1 t}$
 $+ \left[\frac{\lambda_2 \lambda_3 A_{10}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{\lambda_3 A_{20}}{\lambda_3 - \lambda_2} \right] e^{-\lambda_2 t}$
 $+ \left[\frac{\lambda_2 \lambda_3 A_{10}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} + \frac{\lambda_3 A_{20}}{\lambda_2 - \lambda_3} + A_{30} \right]$
 $\times e^{-\lambda_3 t}$ (6)

定数としては, Table 2 の数値を用いた。
計算は ^{210}Pb の放射能を 1 とし, それに対する他の核種の放射能比を求める形で行った。計算のレンジは Table 3 のとおりである。

なお, ^{210}Pb に比べ ^{210}Bi , ^{210}Po の放射能比が大きい場合を想定して計算を行なっていて奇異に感じられるかもしれないが, たとえば化学的操作による ^{210}Po 計数試料の作製時などに起り得ることである。

III 計算結果

全体の図をあげることは繁雑にすぎるので, 代表的な例だけに止めた。本報告の目標として, このような系列を作る核種の測定上の問題点が直観的に見ることができ, またこの種の核種の定量上の参考になることを期待するからである。 ^{210}Pb - ^{210}Bi - ^{210}Po の例をあげたが, もちろんこれらの核種だけについて問題があるわけではない。

なお図示にあたっては, ^{210}Pb に対する他の核種の放射能比で示した。

(1) Fig. 1, Fig. 2 は, $^{210}\text{Pb}(\text{RaD})$ に対する $^{210}\text{Bi}(\text{RaE})$ の初期放射能比が低い場合, ^{210}Bi 放射能の時間的推移について一部省略してあげたものである。このような実例は, 環境中でよく現われる。

Fig. 1 は, ^{210}Bi の長期の推移について示したものである。この図で, はじめの $^{210}\text{Bi}/^{210}\text{Pb}$ 放射能比にくらべ, 1 日目ですでに相当の割合で比が違ってくことに注目する必要がある。この傾向は, 特に $^{210}\text{Bi}/^{210}\text{Pb}$ の初期の比が低い場合に顕著である。 ^{210}Bi を正確に定量しようとする場合に用心しなければならない。もちろん ^{210}Pb , ^{210}Bi 各々の環境等における動きの時間が, 上で問題にした程度の時間にくらべ長ければ, 初期放射能比

Fig. 1 Build-up and decay curve for ^{210}Bi (RaE) / ^{210}Pb (RaD) (initial).

が1よりはるかに外れることはない。

Fig. 2 は、より短期の傾向を示したものである。先に述べた傾向が、特に明瞭に見られる。Fig. 1 からわかるとおり、 $^{210}\text{Bi}/^{210}\text{Pb}$ 初期放射能比がどのようであれ、約17日で $^{210}\text{Bi}/^{210}\text{Pb}$ 放射能比は 0.9 と1の間に入り、約35日で 0.98 と1の間に入る。

(2) Fig. 3, Fig. 4 は、 ^{210}Pb (RaD) に対する ^{210}Bi (RaE), ^{210}Po (RaF) の初期放射能比が低い場合の ^{210}Po 放射能の推移についてあげたものである。環境試料中にふつう現われる状態である。

Fig. 3 は、 ^{210}Po 放射能の時間的推移について、長期の傾向を示したものである。 $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ 初期放射比が1に近ければ近いほど、 ^{210}Bi の初期放射能比の違いの影響がほとんど問題にならなくなってくる。そこで、 $^{210}\text{Bi}/^{210}\text{Pb}$ 初期放射能比の違いは、 $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ 初期放射能比が低い場合に限って、それも一部だけを図上に示した。Fig. 3 から、初期放射能比の影響は、相当長期間を経ないと少なくなることが、当然のことながら見られる。

$^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ 初期放射能比が低い場合（大気中の例など）には、短時日で初期放射能比と相当違った放射能比になることに注意する必要がある。このようなときには、サンプリング後試料作製までの時間を可能なかぎり短くしなければならない。

Fig. 4 は、Fig. 3 の短時日の分を拡大して示したものである。上に示した傾向がはっきりしている。なお、ふ

Activity Ratio

Fig. 2 Build-up curve for ^{210}Bi (RaE) / ^{210}Pb (RaD) (initial) during initial 3 days.

Fig. 3 Build-up and decay curve for $^{210}\text{Po}(\text{RaF})/^{210}\text{Pb}(\text{RaD})$ (initial).

つうの場合, $^{210}\text{Bi}/^{210}\text{Pb}$ の初期放射能比は, ほぼ 1 に近いであろうから, $^{210}\text{Pb} : ^{210}\text{Bi} : ^{210}\text{Po}$ の初期放射能比として $1:1:x$ のところを見れば十分であろう。この比が $1:1:0.1$ のとき, 放射能比は 2 日ではじめの約 10% ほど違って来る。地表大気中の例のように, 初期比が $1:1:0.13$ ていどの比を求めようとするときなど, サンプル終了後計数試料作製までの時間をできるだけ短くしなければならないことが了解されよう。

(3) Fig. 5 は, ^{210}Pb に対する ^{210}Bi , ^{210}Po の初期放射能比が 1 より高いときの, $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ の時間的推移について示した。このような事例は, 先に述べたとおり現実に現われ得るものである。 ^{210}Po だけを分離したつもりでも, 大抵の試料には ^{210}Pb が ^{210}Po に比べ高い放射能比で存在するために, ^{210}Pb の少量の混入が避けにくいからである。

この際, ^{210}Bi の影響は, 初期, 中期にごくわずかに現われるが, 大勢にはほとんど影響ないことが Fig. 5 からわかる。ただ, $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ 初期放射能比が 1 に近くなってくると, Fig. 3, Fig. 4 にも示したとおり, そう無視できなくなる。

この図から, ^{210}Po 計数試料の作製時から計数までの時間は, $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ 初期放射能比が大きければ大きいほど, すなわち ^{210}Pb の混入の少ない, 良好な計数試料であるほど, あまり長くできないことがわかるであろう。もちろん, これは ^{210}Po の半減期から推察できることではあるが。

Fig. 4 Build-up curve for $^{210}\text{Po}(\text{RaF})/^{210}\text{Pb}(\text{RaD})$ (initial) during initial 20 days.

Fig. 5 Decay curve for $^{210}\text{Po}(\text{RaF})/^{210}\text{Pb}(\text{RaD})$ (initial).

IV おわりに

以上, (^{210}Pb) ^{210}Bi , ^{210}Po の放射能の移り vari につい

て図示した。これらの図から, ^{210}Pb – ^{210}Bi – ^{210}Po – ^{206}Pb の系列はもちろんのこと, 他の核種についても定量等における問題点, ヒントが得られれば幸いである。

資料頒布のおしらせ

当会でまとめた下記資料を頒布しております。入手を希望される方は、本会事務局あてにお申し込みください。なお、郵送料は希望者が負担してください。

放射線事故等の原因分析と安全対策上の問題点の提起

A 4 判, 40 頁, 定価 300 円 (郵送料 70 円)