研究論文

ベリリウム-7の樹種別捕捉特性

檜崎幸範^{*1}, 加留部善晴^{*2}

(1996年5月22日受理)
(1996年9月14日再受理)

Capturing Characteristics of Beryllium-7 in Selected Tree Species

Yukinori NARAZAKI^{*1} and Yoshiharu KARUBE^{*2}

With regard to ^7Be , a natural radioactive nuclide, the botanical capturing characteristics were compared between eight species of those trees which grow in a local district. The mechanism of such botanical capture by their leaves was discussed. The amounts of captured ^7Be were different by tree species. Higher radioactivities were found in the coniferous trees than in the broadleaf trees. The seasonal change of ^7Be radioactivity in leaves was significantly higher in winter and spring and lower in summer. Since airborne or fallout ^7Be particles stay on the upper face of leaves, the deposited amount depended on the surface area per weight of leaves particularly for evergreen trees. Because the ^7Be amount in leaves depended on the fallout capturing ability of leaf's superficial skin as well as the cleaning effect of rain and the like, the radioactivity on the surface can change depending on the surface condition of leaves even in the case the levels of ^7Be fallout stayed the same.

KEY WORDS: aerosol, beryllium-7, capturing, leaf, radioactivity, tree

I 緒 言

森林は放射能に対し一次的な遮蔽効果を有するが、その後は樹冠への捕捉によって多くの放射性物質が蓄積される¹⁾。また、森林内を移流・拡散する放射性物質は樹木によって吸収され森林内に固定されていく。このように、森林はその生態系や生物凝縮を通して、放射性物質を増加させる反面、汚染地域の拡散防止や放射性物質の環境からの除去も期待できる。環境からの放射性物質の除去

は、環境保全の問題だけでなく、人体に対する被ばく線量および安全評価上重要な問題であり、放射能に係る防災や危機管理における樹木の役割についても考える必要性がある。

樹木への大気中放射性物質の捕捉やその後の分布あるいは移動を調べるには、天然に存在しない人工放射性核種の挙動を指標として追跡するのが有効である。しかし、人工放射性核種を用いた国内での屋外暴露実験は禁止されている。また、大気圏内核爆発実験の停止により環境中の ^{90}Sr 、 ^{137}Cs などの人工放射性核種も減少し²⁾、森林内の放射性物質の挙動を直接推定することは困難になっている。しかも、放射性物質の捕捉特性は季節や地域によっても差がみられる³⁾。さらに、森林には常緑樹から落葉樹まで種々幅広く生育しており、広範な樹種に対し捕捉特性を把握することは容易ではない。

そこで、植物へ捕捉されることが知られており、生成

^{*1} 福岡県保健環境研究所；福岡県太宰府市向佐野 39 (〒818-01)
Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences; 39, Mukaizano, Dazaifu 818-01, Japan.
^{*2} 福岡大学薬学部；福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 (〒814-80)
Faculty of Pharmaceutical Science, Fukuoka University; 8-19-1, Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-80, Japan.

起源を成層圏および対流圏上部にもち、大気中を浮遊している天然放射性核種 ^7Be に着目し、放射性物質の樹木への捕捉特性を包括的に予測した。

^7Be は荷電粒子や重イオンによる一次宇宙線と大気中の窒素原子または酸素原子との核破砕反応で生成し、 ^7BeO や $^7\text{Be}(\text{OH})_2$ などの形で $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下のエアロゾルに付着⁴⁾ して乾性降下物あるいは降雨や雪による湿性降下物の形で降下する。

本研究は、樹木による ^7Be の捕捉特性を人家周囲で一般に植樹されている広葉樹4種（イチョウ、キョウチクトウ、キンモクセイ、サンゴジュ）、針葉樹4種（アカマツ、カイヅカイブキ、スギ、ヒノキ）の合計8種類の樹葉中 ^7Be 濃度で比較し、併せて樹葉の捕捉機序の一端についても検討した。

II 実験方法

1. 試料の採取

降下物の採取は、太宰府市にある福岡県保健環境研究所屋上（地上15 m）に設置した大型水盤で1か月ごとに行った。

分析に供した樹種は、当研究所の敷地に生育している広葉樹のイチョウ (*Ginkgo biloba*)、キョウチクトウ (*Nerium indicum*)、キンモクセイ (*Osmanthus fragrans* var. *aurantiacus*)、サンゴジュ (*Viburnum odoratissimum*) および針葉樹のアカマツ (*Pinus densiflora*)、カイヅカイブキ (*Juniperus chinensis* 'Kaizuka'), スギ (*Cryptomeria japonica*)、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) で、それぞれ独立樹である。樹葉は同一日に、地上1~3 mの部分から新緑を除いた1年葉および2年葉を0.5~1.0 kg 採取した。なお、降下物は月初めに採取し、前月分とした。また、上旬に採取した樹葉は前月分、下旬に採取したものは当月分とした。

2. 前処理方法

降下物は環境試料採取法⁵⁾ に基づき濃縮を行い、内径48 mm、高さ55 mmのスチロール製測定容器(U-8容器)に移し、乾固した。樹葉のうち生葉は、ミキサーで粉碎してU-8容器に充填した。枯葉は、ガスバーナーで燃焼しないように炭化後、450°Cの電気炉で4時間以上灰化して同様に充填した。

3. 葉の表面積測定

スギの表面積は、戸塚らの経験則による表面積算出公式⁶⁾ を用い、生重量から算出した。広葉樹の表面積は、葉の上面を内田洋行(株)製帰零式プランメータで測定し2倍した。

4. 電子顕微鏡用試料の調製

0.1 cm² に切った葉片を真鍮製バルク試料台に両面テープで固定し、金蒸着を行った。これを走査型電子顕微鏡(日本電子(株)製 JEM-1200 EX)を用い加速電圧60 kV、倍率5,000で観察した。

Fig. 1 Monthly change of the levels of ^7Be fallout and ^7Be radioactivity in the leaves of each tree species. Read monthly ^7Be fallout levels (step line) with the scale on the right side and monthly ^7Be radioactivities in the leaves of the each tree species with that on the left side. Each tree species is represented by a mark as follows:

◆, Ichō (*Ginkgo biloba*); ◇, Kyōchikutō (*Nerium indicum*); □, Kinmokusei (*Osmanthus fragrans*); ■, Sangoju (*Viburnum odoratissimum*); ○, Akamatsu (*Pinus densiflora*); ●, Kaizukaibuki (*Juniperus chinensis*); △, Sugi (*Cryptomeria japonica*); ▲, Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*); ▽, Dead *Cryptomeria japonica*; ▼, Dead *Chamaecyparis obtusa*.

5. 核種分析

^7Be および ^{40}K から放出される γ 線は Ge(Li) 半導体検出器付ガンマ線スペクトロメータ ((株) 東芝製 IGC 1619 E) で 80,000~240,000 秒間かけて測定・定量した⁷⁾。なお、測定値は減衰補正し、採取時の重量当りの放射能とした。また、計数値がその計数誤差の3倍以下の値は不検出 (ND) とした。

III 結 果

1. ^7Be の月間降下量

1993年11月~1994年12月における ^7Be の月間降下量は Fig. 1A に示すように 1993年11月~1994年4月 (平均 129 Bq/m²) および 9月 (175 Bq/m²)、12月 (103 Bq/m²) が高く、5~8月 (平均 45.5 Bq/m²)、10~11月 (平均 40.6 Bq/m²) はその 1/2 以下の降下量であった。また、1994年の年間降下量は 1.04 kBq/m² であった。

2. 広葉樹における ^7Be の放射能

広葉樹の葉中 ^7Be (Fig. 1A) は樹種間で差がみられ、キョウチクトウは ND~29.2 Bq/kg 生、キンモクセイは 8.05~40.5 Bq/kg 生、サンゴジュは ND~25.8 Bq/kg 生、イチョウは ND~26.5 Bq/kg 生であった。葉中 ^7Be を平均するとキンモクセイ、サンゴジュ、キョウチクトウの順に高かった。イチョウは1~4月間は落葉しており、6、8月の葉からは検出されなかった。なお、いずれの樹種でも冬から春に高く、夏に低い変動を示した。

3. 針葉樹における ^7Be の放射能

針葉樹の葉中 ^7Be (Fig. 1B) は広葉樹と同様に樹種間で異なり、アカマツは 8.39~57.4 Bq/kg 生、カイヅカイブキは 5.90~10.7 Bq/kg 生、スギは 11.4~49.4 Bq/kg 生、ヒノキは 9.95~36.7 Bq/kg 生であった。アカマツおよびスギでは冬から春に高く夏に低下した。ヒノキは冬に高く、カイヅカイブキは比較的变化が少なかった。

また、枯スギの ^7Be は 70.9~345 Bq/kg 生、枯ヒノキでは 72.4~113 Bq/kg 生で、それぞれ生葉より 3.7~30倍、3.1~7.3倍高かった (Fig. 1C)。

4. 葉表面積当りの ^7Be 量

10月上旬に採取したイチョウ、キョウチクトウ、キンモクセイ、サンゴジュおよびスギの葉中 ^7Be と表面積当りの ^7Be 量を Table 1 にまとめた。比表面積は 4.4 m²/kg 生 (キョウチクトウ)~10 m²/kg 生 (イチョウ) であった。また、表面積当りの ^7Be 量は 1.4 Bq/m² (イチョウ)~4.0 Bq/m² (キンモクセイ) であった。

Fig. 2 に示すように比表面積と葉中 ^7Be との関係は、イチョウを除いた常緑樹で有意な正の相関関係 ($r=0.997$) を示した。

5. ^7Be および ^{40}K の洗浄実験

スギ葉における ^7Be および ^{40}K の洗浄作用を水、トルエン/テトラヒドロフラン (1:1)、1 N 塩酸の3種類の溶

Fig. 2 Correlation between the surface area per weight of leaves and the ^7Be radioactivity in leaves for each tree species collected in Oct., 1994. Each tree species is represented by a mark as follows:

◆, Ichō (*Ginkgo biloba*); ◇, Kyōchikutō (*Nerium indicum*); □, Kinmokusei (*Osmanthus fragrans*); ■, Sangoju (*Viburnum odoratissimum*); △, Sugi (*Cryptomeria japonica*). The correlation coefficient is $r=0.997$ and a regression function is $F(x)=7.39x-23.5$ for four species of trees except for Ichō (*Ginkgo biloba*).

Table 1 ^7Be radioactivity in and ^7Be deposit density on leaves of each tree species collected in Oct., 1994.

Sample	^7Be (Bq/kg-wet)	Surface area/weight (m ² /kg-wet)	^7Be (Bq/m ²)
Ichō (<i>Ginkgo biloba</i>)	14.2±2.17	10	1.4±0.22
Kyōchikutō (<i>Nerium indicum</i>)	8.93±2.51	4.4	2.0±0.57
Kinmokusei (<i>Osmanthus fragrans</i>)	28.2±3.34	7.0	4.0±0.48
Sangoju (<i>Viburnum odoratissimum</i>)	16.2±3.63	5.3	3.1±0.68
Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i>)	22.3±2.29	6.3	3.5±0.36

Table 2 Results of the washing test for Sugi (*Cryptomeria japonica*) leaves.

Washing method	^7Be (Bq/kg-wet)	^{40}K (Bq/kg-wet)
Non treatment	33.5 $\pm$ 2.63	86.9 $\pm$ 7.42
Running water ^{*1)}	20.9 $\pm$ 1.64 (37.6) ^{*3)}	97.4 $\pm$ 6.95 (— 12)
Toluene/THF (1:1) ^{*2)}	17.5 $\pm$ 1.54 (47.8)	85.2 $\pm$ 4.96 (— 2.0)
1 N HCl ^{*2)}	ND ^{*4)} (100)	79.2 $\pm$ 6.64 (— 9.0)

*1) The leaves were rinsed with running tap water for two hours.

*2) Toluene/THF (1:1) mixture and 1 N HCl solution were added and stirred for one hour.

*3) The value in parentheses means the washed out percentage against the non treatment sample.

*4) ND means that the averaged count was smaller than the three fold value of the standard deviation.

Table 3 Results of the capturing test of ^7Be for Kinmokusei (*Osmanthus fragrans*) leaves.

Method	^7Be (Bq/kg-wet)		^{40}K (Bq/kg-wet)	
	Start	After 64 days	Start	After 64 days
Control	22.9 $\pm$ 2.77	26.4 $\pm$ 4.21	88.1 $\pm$ 8.57	112 $\pm$ 10.6
Covering ^{*1)}	—	11.7 $\pm$ 1.75	—	103 $\pm$ 6.77
Masking ^{*2)}	—	6.41 $\pm$ 2.07	—	109 $\pm$ 7.98

*1) An entire sample branch was kept covered with a vinyl bag for 64 days.

*2) The upper surfaces of some sample leaves of another branch were kept masked with cellophane tape for 64 days.

液で検討した。水での洗浄は 300 g のスギ葉を流水下 2 時間水道水に浸した。また、トルエン/テトラヒドロフラン (1:1) および 1 N 塩酸では、各溶液 3 l に 100 g のスギ葉を浸漬し、1 時間攪拌した。洗浄したスギ葉は室温で一晩乾燥して試料とした。なお、放射能濃度は洗浄前の重量に換算した (Table 2)。

^7Be は流水下 2 時間で 38% が溶出した。また、トルエン/テトラヒドロフラン (1:1) では 48%, 1 N 塩酸による洗浄では 100% の溶出が認められた。一方、 ^{40}K の溶出はいずれの洗浄方法でもほとんど認められなかった。

6. ^7Be および ^{40}K の捕捉実験

キンモクセイを用いて ^7Be および ^{40}K の捕捉量を検討した。11 月から翌年 1 月にかけて 64 日間枝全体を透明なビニールの袋で覆った葉および同じ樹体の葉上面に透明なセロファンテープを貼り付けた葉並びに処置をしていない葉の実験前後での ^7Be , ^{40}K の放射能濃度を Table 3 にまとめた。

ビニールの袋で覆った葉の ^7Be は 11.7 Bq/kg 生で、処置をしていない葉の 64 日後の放射能に対し 44% であった。また、表面にセロファンテープを貼り付けた葉の ^7Be は同様に 24% であった。一方、各試料間に ^{40}K の差はみられなかった。

なお、ビニールの覆いやセロファンテープによる葉の外見上の変化は認められず、これらによる生育阻害はないと思われた。

7. 電子顕微鏡による検鏡

枯スギの葉は葉緑素や水分が失われ、表面のクチクラワックスの欠落した外観の変化は肉眼でも明瞭であった。また、電子顕微鏡下では表皮の劣化は極めて顕著で、多くの微細な凹凸が観察され、フライアッシュやエアロゾルの付着が確認された。生葉には表皮の変化は認められなかった (Fig. 3)。

IV 考 察

阿部⁸⁾ は大気中 ^7Be の季節変動について調査し、春と秋にピークがあることを指摘している。今回の月間降下物の調査結果でも ^7Be は I SHIKAWA らの報告⁹⁾ と同様に冬から春および秋に高い傾向がみられた。これらは冬の気団の影響や春に発生する平均子午面循環 (赤道付近で暖められた大気が上昇して循環が起こる) による下降気流のほか、対流圏界面の揺らぎや裂け目による成層圏からの降下が考えられている。一方、太平洋高気圧に包まれる夏には ^7Be の降下量は相対的に低下した。

葉中の ^7Be 量は、 ^7Be の月間降下量と類似の変動パ

Fig. 3 A leaf surface of Sugi (*Cryptomeria japonica*) under a scanning electron microscope. A sugi leaf as alive (upper) and dead (lower).

ターンを示し、葉に捕捉される ^7Be は、月間降下量に依存する傾向がみられた。しかし、葉中 ^7Be と月間降下量との間に有意な相関関係は認められなかった (Fig. 4)。

これは、江角ら¹⁰⁾が指摘しているように、葉中の ^7Be はその月の降下量だけを反映するものではなく、従来からの吸着量、葉の捕捉力および降雨や風あるいは雪による離脱などに影響を受けるためと考えられる。

年間を通して葉中 ^7Be に変化が少なかったカイヅカイブキと落葉樹のイチョウを除いたキョウチクトウ、キンモクセイ、サンゴジュおよびアカマツ、スギ、ヒノキの ^7Be 濃度を同じ月ごとに比較すると針葉樹は広葉樹より平均1.6倍高いことが分かった。針葉は比表面積が比較的大きく、しかも上面と下面の区別が少ないことから ^7Be 粒子を捕捉する面積も大きいと考えられる。なお、カイヅカイブキの葉は、鱗片葉が密に交互対生し側枝の旋回により、降下する ^7Be 粒子との接触面は葉の外側が主となる。したがって沈着できる量は限られ、相対的に季節変化も少なかった。

葉中 ^7Be の水による洗浄率は38%と小さく、いったん葉に捕捉された ^7Be は比較的強固に結び付いていた。ま

Fig. 4 Correlation between the monthly ^7Be fallout level and the ^7Be radioactivity in leaves for each tree species. Each species of tree is represented by a mark as follows:

◆, Ichō (*Ginkgo biloba*); ◇, Kyōchikutō (*Nerium indicum*); □, Kinmokusei (*Osmanthus fragrans*); ■, Sangoju (*Viburnum odoratissimum*); ○, Akamatsu (*Pinus densiflora*); ●, Kaizukaibuki (*Juniperus chinensis*); △, Sugi (*Cryptomeria japonica*); ▲, Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*); ▽, Dead *Cryptomeria japonica*; ▼, Dead *Chamaecyparis obtusa*.

た、この値は ^{131}I に汚染されたヨモギの水洗による除染率32.4%¹¹⁾とほぼ同等であった。一方、Kは森林の樹冠から降水によって溶脱することが報告¹²⁾されており、室内での洗浄実験でも溶出することが認められている¹³⁾。しかし、今回の洗浄前後での ^{40}K に大きな差はみられず、溶出量は葉中に存在する量に比べて無視できる程度であった。

針葉の外側に付着したエアロゾルや天然ワックスは、トルエン/テトラヒドロフラン (1:1) で1分間洗浄することにより完全に除去されることが報告されている¹⁴⁾。ところが、トルエン/テトラヒドロフラン (1:1) で1時間洗浄しても ^7Be の洗浄率は48%であり、半分以上は葉の内部に残留していると考えられる。

1N塩酸で1時間洗浄した結果では、TAKASHIMAらの報告¹⁵⁾のように100%の ^7Be が溶出した。 ^7Be はイオンポテンシャルが大きく、イオン交換反応に対し敏感であるため、表皮の外面に分布した ^7Be はもちろん1N塩酸が浸透可能な葉の内部に存在する ^7Be も一緒に溶出したと考えられる。ただし、 ^{40}K の溶出がみられないことから、 ^{40}K は葉の内部でも ^7Be とは分布が異なると思われる。

以上の結果から、大気中微粒子の形で葉に乾性沈着あるいは湿性沈着した ^7Be は、降雨や夜間の結露などによ

る葉表面の湿潤化に伴って2価の陽イオンとして水中に溶け、表層部から葉の内部に侵入し¹⁶⁾、その反応性の強さから細胞内外に多数存在する陰イオンの有機基成分と容易に結びつくものと考えられる。

ビニールの袋で覆ったキンモクセイの葉中⁷Be濃度は 11.7 ± 1.75 Bq/kg生で、実験開始時の22.9 Bq/kg生が物理的半減期($T_{1/2}=53.3$ 日)にしたがって減少した64日後の理論値9.96 Bq/kg生とほぼ一致した。

64日間で葉が捕捉した⁷Beは14.7 Bq/kg生で、葉の表面積当りの捕捉量はキンモクセイの比表面積 $7.0 \text{ m}^2/\text{kg}$ 生から 2.1 Bq/m^2 と考えられる。また、この間の⁷Be降下量は 150 Bq/m^2 であり、葉の捕捉率は 1.4×10^{-2} と推定される。

上面にセロファンテープを貼り付けた葉の⁷Beは6.41 Bq/kg生で、物理的半減期から算出した理論値9.96 Bq/kg生よりさらに低かった。これはセロファンテープの粘着力が、上面に付着していた⁷Beを剥ぎ取った結果と思われる。また、葉の外面に等しく⁷Beが付着するならば、実験終了時における葉の下面の放射能濃度は26.4 Bq/kg生の半分の13.2 Bq/kg生となる。しかし、上面にセロファンテープを貼り付けた葉の⁷Beはこの濃度よりさらに低く、下面に捕捉される量が比較的少ないことが分かる。これより、捕捉の際の有効面は主として葉の上面であるといえる。

捕捉実験において⁴⁰Kの放射能濃度には差が認められず、⁴⁰Kは土壤からの経根吸収が主であると考えられる。一方、⁷Beはヨモギの根部から検出された報告¹⁷⁾はあるが、ダイコンやマツ¹⁵⁾の根部からは検出されていない。また、地表から2 cmの表層土壌からは検出されたが、2 cm以下の土壌からは検出されていない¹⁶⁾。したがって比較的下層の土壌養分を主とする樹木葉部の⁷Beは、経根からの吸収とは認めがたく、葉面による捕捉が支配的であると思われる。

表皮の状態が比較的等しいと考えられる常緑樹のキョウチクトウ、キンモクセイ、サンゴジュおよびスギの葉中⁷Be量は葉の比表面積の大きさに依存したが、葉の成長期間が異なる落葉樹のイチヨウでは必ずしも一致した関係はなかった。なお、イチヨウは落葉前に水分が失われ、相対的に比表面積が増加した。

MATSUOKAら¹⁸⁾は松葉の放射能を調査し、新葉より古葉の放射能の方が高いことを報告している。同様に、枯スギや枯ヒノキの⁷Beはいずれも生葉より3.1倍以上高かった。スギおよびヒノキの葉を60°Cで24時間乾燥すると、スギで55%、ヒノキで54%の重量が減少した。したがって、乾燥重量当りの⁷Be濃度は生重量に対する濃

度に比べ約2倍高くなるが、それ以上に枯れた葉の濃度は高かった。なお、枯れた葉からも乾燥減量は認められる(枯スギは8.6%)が、わずかであった。

枯れた葉の⁷Be濃度が高いのは、電子顕微鏡で観察されたように葉の劣化が表皮と⁷Beが付着している粒子との接触面積を大きくし、そのうえ撥水性のクチクラ層の劣化が親水状態を高めた結果、⁷Beの乾性沈着や湿性沈着の量を増加させたものと考えられる。

V 結 語

本研究では、天然放射性核種⁷Beに対する樹種の捕捉特性を同一地域に生育する8種類の樹木で比較し、併せて樹葉の捕捉機序の一端について検討した結果、次のような知見が得られた。

- 捕捉された⁷Beの量は樹種によって異なり、総じて針葉樹の方が広葉樹に比べ高い。
- 葉中⁷Beの季節変動は顕著で、冬から春に高く、夏に低下する傾向にある。
- ⁷Beを含む微粒子は降下あるいは浮遊しながら、主に葉の上面へ沈着する。
- 葉中の⁷Be濃度は葉の比表面積に依存するが、葉の表面状態にも左右される。
- 沈着した⁷Beは相当量が葉の内部に移行すると考えられる。

電子顕微鏡写真撮影に協力頂いた福岡県保健環境研究所の下原孝章博士および貴重な御助言を頂いた九州大学の百島則幸博士に深謝致します。

参 考 文 献

- 1) C. MYTTENAERE, W.R. SCHELL, Y. THIRY, L. SOMBRE, C. RONNEAU and J. van der Stegen de SCHRIECK; Modelling of Cs-137 cycling in forests: Recent developments and research needed, *The Science of the Total Environment*, **136**, 77 (1993).
- 2) 檜崎幸範, 中山一成, 加留部善晴; 福岡県における環境放射能調査(1963年度~1990年度), 保健物理, **30**, 323 (1995).
- 3) N. MOMOSHIMA and E.A. BONDIETTI; The radial distribution of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in tree, *J. Environ. Radioactivity*, **22**, 93 (1994).
- 4) E.A. BONDIETTI, J.N. BRANTLEY and C. RANGARAJAN; Size distributions and growth of natural and Chernobyl-derived submicron aerosols in Tennessee, *J. Environ. Radioactivity*, **6**, 99 (1988).
- 5) 科学技術庁(編); “環境試料採取法”, 放射能測定法シリーズ **16**, 東京 (1983).

- 6) 文部省「人間環境系」重点領域研究 N11-01「酸性雨」研究班, “酸性雨が陸域生態系におよぼす影響の事前評価とそれに基づく対策の検討, 1987/89 年度研究成果報告”, 「人間環境系」研究報告集, p. 26, 東京 (1990).
- 7) 科学技術庁(編); “ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー”, 放射能測定法シリーズ 7, 東京 (1990).
- 8) 阿部道子; 大気中 ^7Be の時間的変動と滞留時間, エアロゾル研究, **10**(4), 283 (1995).
- 9) Y. ISHIKAWA and H. MURAKAMI; Precipitation scavenging studies of radionuclides in air using cosmogenic ^7Be , *J. Environ. Radioactivity*, **26**, 19 (1995).
- 10) 江角周一, 寺井邦雄, 山本春海; 島根県における松葉の人工放射性核種濃度の推移, 島根衛公研所報第 34 号, 29 (1992).
- 11) 庄子 隆, 塚田祥文, 大峰 守, 吉清水克己; 葉菜の処理による放射性核種の減少, *JCAC*, **12**, 67 (1986).
- 12) 佐々朋幸, 五島和秋, 長谷川浩一, 池田重人; 盛岡市周辺の代表的森林における林外雨, 林内雨, 樹幹流の酸性度ならびにその溶存成分—樹種による樹幹流の pH 固有値一, 森林立地, **32**, 43 (1991).
- 13) S.E. LINDBERG and G.M. LOVETT; Field measurements of particle dry deposition rates to foliage and inert surfaces in a forest canopy, *Environ. Sci. Technol.*, **19**, 238 (1985).
- 14) A. WYTTEBACH, S. BAJO and L. TOBLER; Aerosols deposited on spruce needles, *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, **114**(1), 137 (1987).
- 15) Y. TAKASHIMA, N. MOMOSHIMA and M.R. HAMIDIAN; Pine needle activity and the washing effect as a measure of fallout, *Radiochem. Radioanal. Letters*, **36**(1), 69 (1978).
- 16) M.G. BETTOLI, L. CANTELLI, S. DEGETTO, L. TOSITTI, O. TUBERTINI and S. VALCHER; Preliminary investigations on ^7Be as a tracer in the study of environmental processes, *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, **190**(1), 137 (1995).
- 17) 諏訪成雄, 安達 恵, 米田和広, 田邊廣和; 新潟県内の放射能 (^{137}Cs) のレベル, 新潟県衛生公害研究所年報, **5**, 136 (1989).
- 18) N. MATSUOKA, N. MOMOSHIMA, E. HIRAI and Y. TAKASHIMA; Radioactivity of pine needles Kyushu Island, Japan, after the 26th Chinese nuclear explosion test, *Radiochem. Radioanal. Letters*, **57**(3), 161 (1983).