

リターフォールによる金属元素の林地への還元

片山 幸士・石丸 優・湊 和也・青木 敦^{*1}

Amounts of Metal Elements Returned to Forest Soil with Litterfall

Yukio KATAYAMA, Yutaka ISHIMARU, Kazuya MINATO and Atsushi AOKI^{*1}

要 旨

森林生態系での金属元素の挙動を知るため、樹冠通過雨や樹幹流とともに、林地への金属元素の流入媒体となるリターフォールについて、その季節変動とそれに含まれる各種金属元素をアカマツ、クロマツ、ヒノキを主とする山地林分で2年間にわたって調査した。リターフォールは10月から12月にかけて顕著に高い季節変化を示し、また年平均のリターフォールは5.03 t/haであった。熱中性子放射化分析法によって全てのリターフォール試料について検出できた金属元素は、濃度の高い方から、Ca, Mn, Al, Fe, Na, Zn, Rb, La, Ce, Sm, と Sc で、一部のリターフォールについては V も定量された。最も高い Ca の平均濃度は1.24%, もっとも低い Sc は0.1 ppm であった。リターフォールによって林地に還元される金属元素は、Ca 30.1, Mn 3.27, Al 2.12, Fe 0.91, Na 0.40, Zn 0.17 (kg/ha・yr) などが比較的多く、以下、Rb 19.5, La 6.93, Ce 4.27, V 1.76, Sm 1.62, および Sc 0.24 (g/ha・yr) であった。

1. 緒 言

森林生態系での元素の挙動については、これまで、N, P, K, Ca, および Mg などの栄養塩類の元素に関しては多くの研究報告がなされている¹⁾。しかしこれらの元素以外にも多種類の元素が、樹冠通過雨、樹幹流、浮遊粉塵などを媒体にして林地に達する。さらに、リターフォールによっても、いったん樹体に取り込まれた元素の一部が林地に還元される。すでに筆者らは降水、樹冠通過雨、樹幹流、および流出水などの水を媒体にした十数種の金属元素の挙動について、今回リターフォールを採取したと同じ山地小流域で調べてきている²⁾。ここではリターフォールとともに林地へ還元される金属元素量について報告する。対象とした金属元素は中性子放射化分析法で定量可能なものとし³⁾、この方法によって検出しにくかった元素については原子吸光法やPIXE法によって測定し、今後報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 調査地と試料

リターフォールを採取した調査地は、滋賀県の東南部（大津市桐生）に位置し、標高190～255

^{*1} 京都府立大学生生活科学部

mにわたる山地小流域で、花崗岩を母材とする深層風化地帯にあり、アカマツ、クロマツを主とし一部ヒノキが混じった林分を形成しており、樹冠はほぼ閉鎖している。リターフォールは1985年11月から1987年10月までの2年間にわたって、0.5 m×0.5 mのサランネットで作成した捕集器5個を林内に置いて採取した。1986年12月までは約2週間毎に、それ以降は1ヶ月単位で採取した。5個の捕集器で、同一期間に集めたリターフォールは一つにまとめ、60°Cに設定した熱風乾燥器で24時間乾燥した後、風乾重量を測定した。さらに、試料の一部を用いて含水率を求め絶乾重量を算出した。風乾したリターフォールを350°Cの電気炉中で炭化し、よく粉碎して金属元素の分析に供した。

2.2 金属元素の定量

金属元素の定量は多元素の同時分析が可能で、かつ Al, V, および希土類元素の検出に適した熱中性子放射化分析法で行った。炭化後、粉碎した試料約50 mgを精秤、ポリエチレンフィルムで密封し、照射用のラビットに入れた。照射は京都大学原子炉実験所の圧気輸送管を用いた。

Al, Ca, Mn など、短寿命核種を用いて定量する元素は、熱中性子束 $1.5 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ で10秒間照射し、300~400秒冷却後、200秒間 γ 線を測定した。Sm, La などの中寿命核種および Zn, Fe, Sc など長寿命核種から定量する元素については熱中性子束 $2.75 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ で1時間照射した。照射後京都府立大学へ持ち帰り3~4日間冷却後、3000秒間測定して中寿命核種を、さらに2週間冷却、10000秒間以上放射線を計測して長寿命核種を定量した。 γ 線スペクトロメトリーには Ge (Li) 半導体検出器とマルチチャンネル波高分析器を用いた。

3. 結果と考察

3.1 リターフォールの季節変化

月別にまとめたリターフォールの季節変化を Fig.1 に示す (1986年2月は欠損)。採取期間中

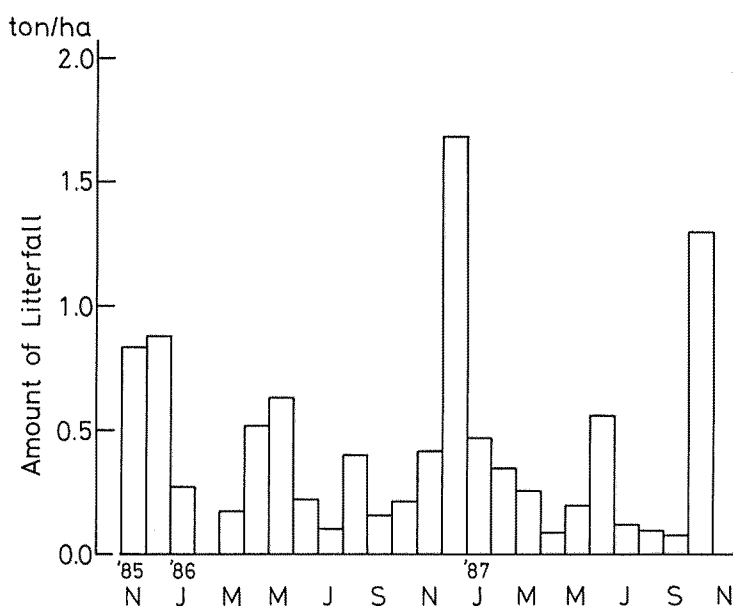


Fig. 1 Monthly change of litterfall.

のリターフォールは 82 kg/ha から 1680 kg/ha の間で変動した。リターフォールの量が多くなるのは10月から12月であった。ヒノキやアカマツなどの常緑樹でも、落葉広葉樹と同様、秋に落葉が集中するので⁴⁾、この期間のリターフォールが年間の大きな割合を占めていると言える。この期間を除くと顕著な季節変化は認められない。この変化のパターンは、成長に季節性が乏しく、リターフォールもほとんど一定な熱帯多雨林のそれと異なり¹⁾、ヒノキの人工林のそれとよく類似している⁵⁾。採取期間中の年平均のリターフォールは 5.03 t/ha であった。

3.2 リターフォール中の金属元素濃度

熱中性子放射化分析法で定量したリターフォール中の金属元素濃度の季節変化を Fig. 2 に示した。Ca の場合、その濃度の季節変化は11月から2月にかけて高く、3月から秋口にかけてはほぼ 1 % と、一定の値を示している。生葉中のミネラルの季節変化についての堤の報告⁶⁾ によると N, P の濃度は4月に高く、5月になると急激に減少し、そのあとほぼ一定となる。この傾向

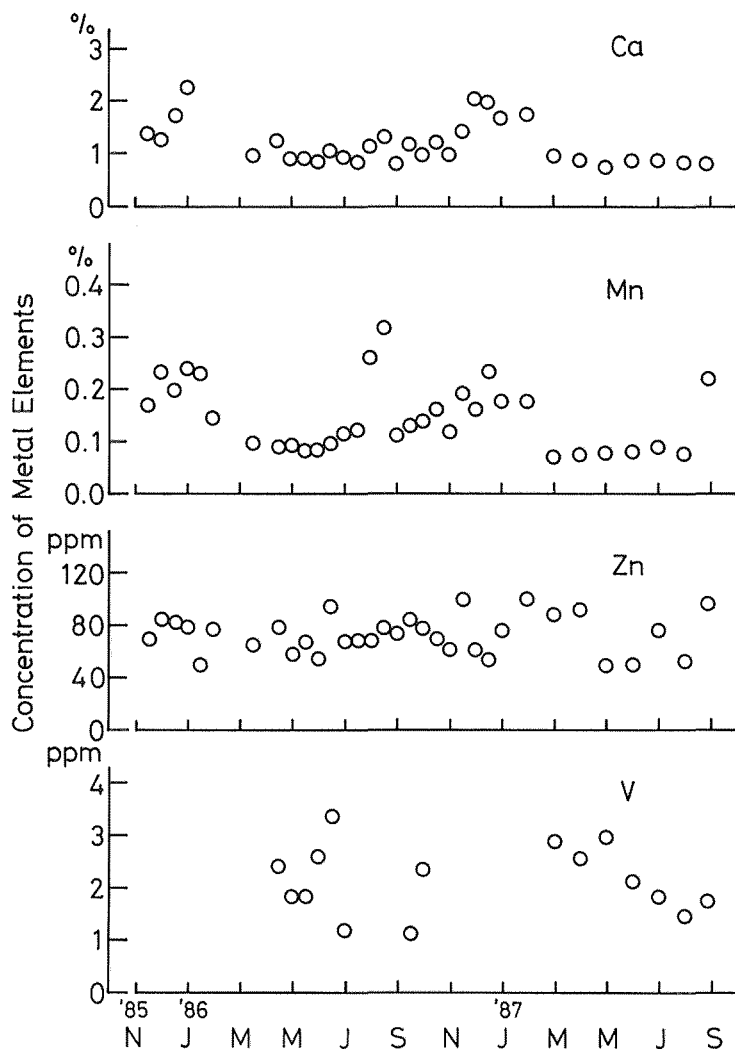


Fig. 2 Seasonal changes of concentration of metal elements in litterfall

は樹種間でほとんど差が認められない。これにたいして、Ca は4月には低い成長とともに急激に増大した後、5月～10月まで一定値を示すもの（マユミ、クロモジ）、5月から6月にかけていったん減少したあとほぼ一定値を示す（オオモミジ、ネジキ）など樹種によって違いがある。また、朝日⁷⁾によると、トドマツの壮齡木、エゾマツの老樹木の当年生の葉中の N, P の濃度については、上記した樹種の葉と同じように、春に高くその後減少する。しかし、Ca は逆に春から秋に向けて高くなっている。このように、N, P に比べて、生葉中の Ca 濃度の季節変化には種間差があり、また成長の程度や立地条件の影響も受ける。特に、今回は調査地の林分も異なるうえ、生葉でなく、リターフォールについてであるので単純には比較できない。しかし、リターフォール中の Ca 濃度はリターフォールの増大する時期に高くなっており、これはその大部分を占める落葉においても Ca の含有率が大きくなった結果と推定できる。Mn も冬季に高く、3月から7月まではほぼ一定の値を示すことは Ca と同様であるが、夏季に一時的な濃度の上昇が認められた。これらにたいして、Zn では顕著な季節変化が認められなかった。V の場合、33点の試料中検出されたのは15点であった。この原因として、試料にもともと含まれていないか、あるいは含有率が低い場合（ <0.1 ppm）、放射化されて生成する ^{52}V の γ 線のピークが他の核種のそれに妨害された結果、検出されなかったと考えられる。V は3月から9月にかけてその濃度が高くなった。

Ca, Mn, および V に認められた季節変化の特徴の原因については、さらに長期にわたってリターフォールを採取し、葉、枝、種子などリターフォールを組成毎に分けて分析を行うとともに、浮遊粉塵や降水量などとの関係についても調べるにより今後とも検討する予定である。

Fig. 3 にリターフォールから検出された12種類の金属元素の濃度範囲と平均値を示した。これらの値は、小山⁸⁾らが約600点の植物葉中の金属元素について行った分析結果とよく一致して

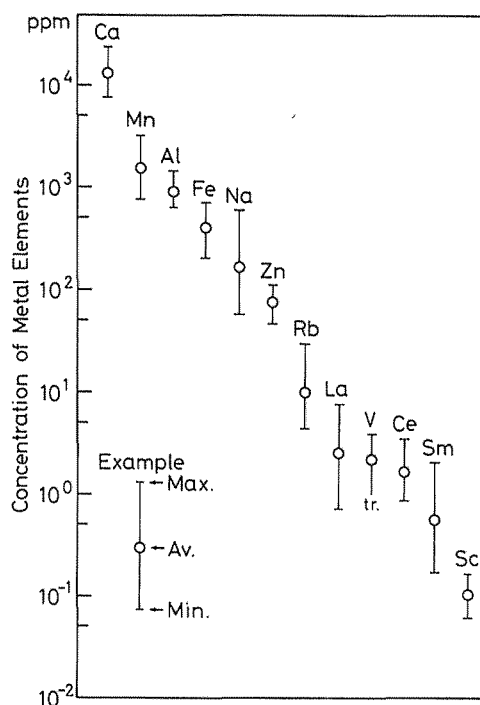


Fig. 3 Concentration ranges of metal elements in litterfall

いる。

3.3 リターフォールによる金属元素の還元量

リターフォールに含まれて林地に達する金属元素量の季節変化を Fig. 4 に示した。Ca, Mn,

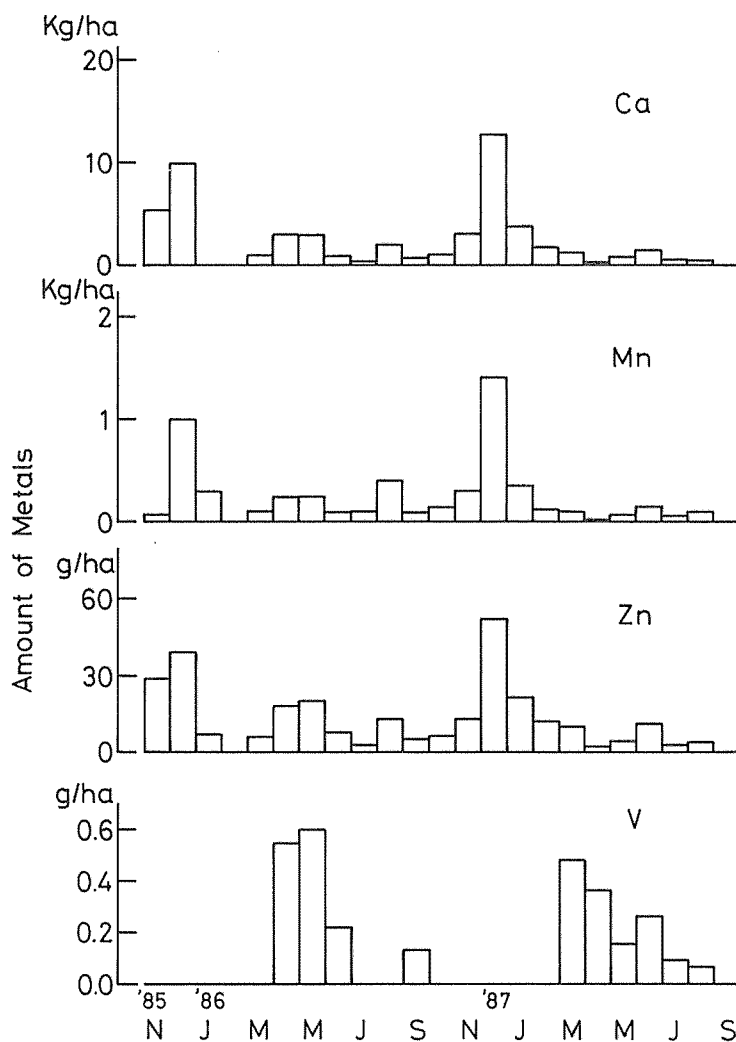


Fig. 4 Monthly changes of amount of metal elements returned to forest soil with litterfall

および Zn の還元量の季節変動は類似している。V については、検出限界以下の場合、還元量を算出できないが、検出限界値とリターフォールから求めた“還元量”をプロットしても上記の元素とは異なり、春から夏にかけて還元量は多くなっている。この時期に V が多くなる原因については今後検討する必要があると考えている。

12種類の金属元素のリターフォールによる林地への年間還元量を Table 1 に示した。ここで得られた Ca の結果は報告されている温帯常緑針葉樹林での値¹⁾とよく一致している。

ところで、筆者らは、今回、リターフォールについて調べた同じ試験地で、1976年6月から

1977年7月まで、水試料を媒体にした金属元素の収支を求めた⁹⁾。その結果、Na, La, Th, Sc, および Sm は、降水(P)をベースにした流出水(S)との収支(S/P)についても、さらに、林地に達する樹冠通過雨(TF)と樹幹流(SF)との和をベースにした収支(S/TF+SF)のいずれにおいても、流出水に含まれる量が多く、したがって森林から減少していく傾向にあった。

たとえば、Laの場合、それぞれの水試料に含まれる量(g/ha・yr)は、P; 1.09, TF; 2.02, SF; 0.17, および S; 6.46 である。ところで調査時期が異なるが、Table 1 に示したようにリターフォールとともに林地に入ってくる La は、6.93 g/ha・yr であり、TFとSFにこれを加えた量は 9.12 g/ha・yr で、TFとSFだけの場合とは逆に、La は森林に蓄積していく傾向にあると思われる。この点をさらに明らかにするには、樹木による土壌からの吸収とリターフォールを通しての還元という森林内での小循環についてもさらに検討する必要がある。Sm についても La と同様な結果が得られた。このように、森林生態系での収支を考える際、降水、樹冠通過雨、および樹幹流などの媒体の役割が大きいことが多いが、元素の種類によってはリターフォールの寄与が大きくなることもあることを考慮しなければならない。

Table 1 Amounts of metal elements returned to forest soil with litterfall.

Element	Amount (kg/ha・yr)	Element	Amount (kg/ha・yr)
Ca	32.1	Rb	19.5
Mn	3.27	La	6.93
Al	2.12	Ce	4.27
Fe	0.91	V	1.76
Na	0.40	Sm	1.62
Zn	0.17	Sc	0.24

4. お わ り に

化学物質の森林生態系での挙動の、環境化学ならびに地球化学的な観点からの調査の一環として本研究を行った。今回用いた放射化分析法は Al, V, 希土類元素などの同時分析には欠かせない手法の一つである。しかし、Cu, Pb, Hg, Ni などの重金属元素は検出できないか、あるいは精度に問題がある。そこで、他の分析法を併用して情報量を今後増やしていく予定である。

本研究を行うにあたり京都大学原子炉実験所の小山睦夫教授、高田実弥技官ならびに京都大学農学部の大学院生岡田直紀氏、小島永裕氏のご協力をいただいたことを付記し、併せて感謝の意を表します。なお、本研究の一部は昭和60年度および昭和61年度、日本生命財団研究助成金(代表者: 京都府立大学生生活科学部、青木 敦)によって行われた。

引 用 文 献

- 1) 堤 利夫: 森林の物質循環. 東京大学出版会. 東京. 124pp, 1987
- 2) 片山幸士(共著): ヒトと森林. 共立出版. 東京. pp 151-167, 1982
- 3) 片山幸士・岡田直紀・山下 洋・井上次郎・青木 敦: 環境指標としての降水中の微量元素. 京大演報 57. 335-342, 1986
- 4) 佐藤大七郎・堤 利夫編: 樹木. 東京. 文永堂. pp 215-217, 1978
- 5) TSUTSUMI, Toshio, NISHITANI, Yoshimitsu, KIRIYAMA, Yukio: On the Effect of Soil Fertility on the Rate and the Nutrient Element Concentration of Litterfall in a Forest. 日生態誌. 33. 313-322, 1983
- 6) TSUTSUMI, Toshio: On the Relation between Nutrient Element Concentration in Leaves of Trees and Shrubs and their Growing Soil Condition. Physiol. Ecol. Japan. 18. 137-147, 1981
- 7) 朝日正美: 日林誌. 48. 135-138, 1958
- 8) 小山睦夫・高田実弥・白川正広・片山幸士: 中性子放射化分析法による植物葉中の微量元素の分布と特異集積の研究. 放射性コバルトの放射生態学的諸問題に関する短期研究会報告. 20. 1982
- 9) KATAYAMA, Yukio, YAMASHITA, Hiroshi, ISHIDA, Norio, ISHIMARU, Yutaka, TSUTSUMI, Toshio:

Résumé

The behavior of nutrient elements such as N, P, K, Ca, and Mg in a forest ecosystem have been reported. Most of these reports have been mainly focused on the amounts of nutrient elements and the circulation in a forest. However, many metal elements beside above mentioned elements returned to forest soil with throughfall, stemflow, dust, and litterfall.

In this paper, the behavior of metal elements returned to a forest soil with litterfall was investigated at Kiryu experimental site, southeast part of Shiga prefecture, where the stand of this site mainly comprises of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.), Akamatsu (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc), and Kuromatsu (*Pinus Thunbergii* Parl). Litterfall was collected over two years (from Nov., 1985 to Oct., 1987). Litterfall increased from October to December, and the annual average was 5.03 kg/ha · yr. The metal elements in litterfall were measured using instrumental neutron activation analysis. The metal elements such as Ca, Mn, Al, Fe, Na, Zn, Rb, La, Ce, Sm, and Sc were detected in all samples, but V was detected in only a part of samples. The amounts of metal elements returned to the forest soil with litterfall were as follows ; Ca 30.1, Mn 3.27, Al 2.12, Fe 0.91, Na 0.40, Zn 0.17 (in kg/ha · yr) and Rb 19.5, La 6.93, Ce 4.27, V 1.76, Sm 1.62, Sc 0.24 (in g/ha · yr).