

海松葉 Litter의 分解와 N, P 및 K의 動態¹

李 明 鐘²

Decomposition and, Nitrogen, Phosphorus and Potassium Dynamics of *Pinus thunbergii* Needle Litter¹

Myong-Jong Yi²

要 約

海松葉 litter의 分解와 그에 따른 養分放出의 動態를 日本地方의 海岸 海松林에서 litterbag法으로 調査하였다. litter의 分解에 따른 乾物重의 消失은 初期 1年間에 빨랐고 그후는 보다 鈍化하였으며, 分解 1년동안의 消失率은 約 40%였다. 分解係數 k 는 0.5-6.0, 半減期(年)는 1.1-1.4의 범위였다. 分解에 따른 殘存 litter내의 N과 P의 養分濃度는 經時的으로 增加하는 傾向이었으나 K의 濃度는 減少하였다. K의 養分의 絕對量은 分解가 進行하는 동안 현저히 감소하였으나 N의 絕對量은 증가하는 경향을 보였다. 分解에 따른 放出은 $K>P>N$ 의 順이었다. 실험기간중 N의 無機化 단계는 나타나지 않았다.

ABSTRACT

Seasonal patterns of decomposition and nutrient release from the needle litter were examined using litter-bags in coastal *Pinus thunbergii* forests in northern Kyushu, Japan. Dry matter losses from decomposing needle litter were similar in all stands over an experimental period. Mass loss in dry weight is lost rapidly during the first year, and thereafter the rate of loss slows. Litter lost approximately 40% of initial mass in 1 yr. The predicted decay constant, k values ranged from 0.5 to 0.6. Decomposition half-times ($t_{0.50}$) ranged from 1.1 to 1.4 year. In the decomposing needle litter, the concentrations of N and P generally increased with time while the concentration of K decreased. A decrease in absolute amount was noted for K during decomposition while an increase was found for N. The order of mobility of elements was $K>P>N$. Mineralization phase of N had not appeared during the experiment.

Key words : *Pinus thunbergii*, needle litter, decomposition, mineralization.

緒 論

Litter로서 林地에 還元된 유기물의 分解過程은 森林生態系의 物質循環에 있어서 重要な 位置를 차지한다. 有機物內의 養分要素는 分解過程에

서 無機化되어 再吸收된다. 또한 有機物의 分解는 理化學的 性質을 결정하는 중요한 構成要素인 土壤有機物의 生成에 기여하며, 林床과 土壤에 있어서 有機物이 量的으로 平衡상태에 이르게 되면 그의 分解速度 및 養分의 無機化는 生態系의 1次 生産力을 規定한다(O'Connell, 1987; Blair,

¹ 接受 1991年 7月 26日 Received on July 26, 1991.

² 江原大學校 林學科 Department of Forestry, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

1988). Litter의 分解와 養分의 動態에 影響하는 因子로서 litter 自體의 基質(Fogel and Cromack, 1977과 Aber and Mellio, 1980과 Berg *et al.* 1982 및 Mellio *et al.*, 1982), 氣候(Meentemeyer, 1978과 Swift *et al.*, 1979) 및 微生物등의 生物活動(Swift *et al.*, 1979과 Huish *et al.*, 1985)등과 관련한 많은 연구가 있으나 海松林에 있어서의 연구는 없다.

海岸海松林은 海岸環境의 保全, 保健休養등의 多目的 機能을 유효하게 발휘해야 할 性격을 띠고 있으나(小笠, 1988) 일반삼림에 비해 不利한 環境條件下에 놓여있어 生態적으로 不安定한 森林이 많다고 한다(河田, 1987). 따라서 本報告에서는 海松林을 대상으로 生態의인 面에서 養分의 循環의 특이성을 파악하는 수단으로서 海松葉 litter의 分解 및 그에 따른 養分元素(N, P, K)의 動態에 대하여 檢討하였다.

調査地 및 方法

調査地는 일본 北部九州 지방인 福岡縣內의 IKINOMATSUBARA와 UMINONAKAMICHI 지역(이하 "I"지역 및 "U"지역으로 각각 表記한다)의 海岸海松林으로 각 지역에 있어서 調査區의 設定方法 및 林分의 概要는 前報(李 등, 1987)와 같다.

試料은 1987년 10월에 U지역의 林床에서 採取한 新鮮한 海松의 葉 litter 45g(絶乾重換算)을 20cm×30cm(그물코 1.24mm)의 寒冷沙製 litterbag에 넣었다. 이들을 I 및 U 兩지역에 3개소씩 설정한 調査區의 A₀層의 上部에 설치한 후 대나무 핀으로 고정하였다. 設置期間은 432日로서, 설치기간중 9회에 걸쳐서 각 調査區에서 3개씩의 litterbag을 回收하였다. litterbag의 上面은 개방되어 있어 落葉, 落枝등이 들어오는 경우가 있으므로 定期的으로 外部로 부터 混入한 낙엽, 낙지등을 제거했다. 回收한 試料은 60℃에서 48시간 乾燥한 후, 試料에 부착해 있는 흙을 가능한한 제거하고 乾重量을 측정했다. N, P 및 K의 分析은 각 조사구에서 회수한 3개의 葉 litter를 等量으로 섞어서 調整한 것을 직경 1mm의 체를 통과하도록 粉碎하여 分析用試料로 했다. N는 CN코더(柳本)에 의했으며, P는 메타배너드 몰리브덴법으로, K는 HNO₃-HClO₄의 混合酸으로 濕

式灰化한 후 原子吸光法으로 구했다. litter bag 설치기간중의 氣溫과 降水量은 福岡管氣象臺 氣象月表를 이용했다.

結果 및 考察

重量消失

實驗設定時의 乾燥重量을 100으로 환산한 것에 대한 회수한 試料의 重量 殘存率를 Fig.1에 나타냈다. 각 조사구에 있어서 重量消失의 경향은 전반적으로 litterbag 설치 후 약 5개월 경과까지는 緩慢한 減少를 하였고, 그후부터 11개월까지는 보다 급격한 減少가 계속된 후 약 12개월부터는 다시 緩慢한 경향을 보여 시험기간에 한해서는 兩지역 또한 각각 조사구에 있어서 분해경향의 차이는 명확히 나타나지 않았다. Klemmedson (1985)등은 皆伐과 非皆伐의 ponderosa pine林에서의 葉litter 분해시험에서 초기 10개월간에는 林粉의 處理에 의한 分解패턴의 차이가 인정되지 않았음을 보고하였다. 시험종로시에 있어서 消失率은 I지역에서 39%~44%, U지역에서 40%~43%로서, 地域 및 林分間의 差異는 크지 않았다. pine類의 葉 litter에 관한 消失率을 기존의 연구결과에서 보면 잣나무林에서 12개월후에 32~34%(許·韓, 1990), ponderosa pine林에서 34개월후에 약 40%(Klemmedson *et al.*, 1985), slash pine林에서 12개월후에 약 15%(Gosz *et al.*, 1973), Scots pine林에서 12개월후에 약 27%(Berg *et al.*, 1952)등으로 이들 값과 비교하여 해송 葉 litter의 消失率이 컸다.

일반적으로 時間이 經過함에 따라 有機率의 重量은 指數關數的으로 감소하며 時間과 殘存量의 사이에는 $X = X_0 e^{-kt}$ 의 관계가 성립함이 알려져 있다(Jenny *et al.*, 1949과 Olson, 1963). 여기서 X는 t年後의 殘存量, X₀는 設置時의 重量, k는 分解係數, t는 經過年數이다. 이 式에 의해 구한 分解係數(k), 半減期(t_{0.50}), 平均滯留期間(t_{0.95})을 Table 1에 나타냈다.

k값은 I지역에서 0.51-0.62, U지역에서 0.49-0.63의 범위였으며, I지역에서는 I-2조사구에서, U지역에서는 U-2조사구에서 分解가 다소 빠르게 이에 비해 海岸에 보다 가까운 I-1 및 U-1에서 다소느린 경향을 보였으나, 兩지역 및 각조사 임분간의 차이는 크지 않았다. 葉 litter가

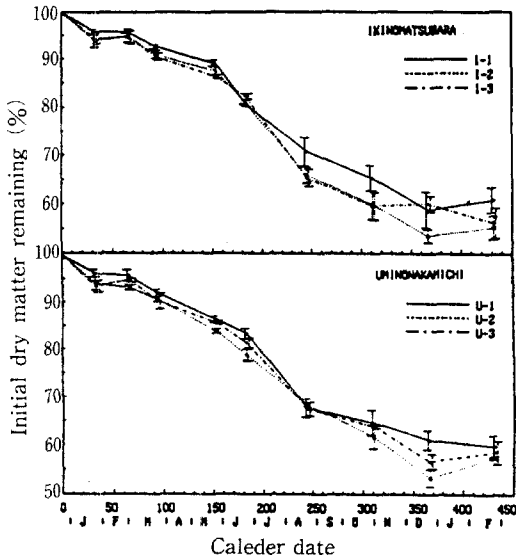


Fig. 1. Percentage of the initial needle dry matter remaining after various periods of decomposition. Values are means and standard errors. Sample size=3.

50% 分解하는데 필요한 年數($t_{0.50}$)는 I 지역과 U지역에서 각각 1.12-2.36 및 1.11-1.41이었다. k 및 $t_{0.50}$ 의 값을 他 연구결과에서 보면, 각각 소나무림에서 0.47과 1.50(河原·佐藤, 1977), 방크스소나무림에서 0.300-0.355 및 2.0-2.3 (MacLean and Wein, 1978)으로, 前者는 본 실험의 결과와 비슷하였으나 後者는 큰 차이가 있다. 한편 소나무림에서도 $t_{0.50}$ 값에 대하여 2.7인 例(中村·順崎, 1984)도 있다. 95% 分解하는데 必要한 年數($t_{0.95}$)는 약 5-6년 정도로 방크스소나무 葉 litter의 8.5-8.8年(MacLean and Wein, 1978)과 비교하여 매우 빠르다. 이러한

Table 1. Decomposition constants for needle litter from *Pinus thunbergii* during a 1-yr litterbag study.

Site	k	$t_{0.50}$	$t_{0.95}$
I-1	0.53	1.32	5.71
I-2	0.62	1.12	4.84
I-3	0.51	1.36	5.87
U-1	0.49	1.41	6.12
U-2	0.63	1.11	4.78
U-3	0.56	1.23	5.32

$k, X/X_0 = e^{-kt}$, where X_0 =initial weight of litter(t_0) and X =weight of litter at time t ;
 $t_{0.50}$ (50% decomposition time, yrs) = $0.693/k$;
 $t_{0.95}$ (95% decomposition time, yrs) = $3/k$.

각 林分, 각종 litter사이에 차이가 있게하는 것으로서 溫度요인, 지형에 따른 水分요인, 微生物요인 등 litter를 둘러싼 環境요인의 차이, 또한 litter자체의 質의 차이를 생각할 수 있다(河田, 1989).

한편 氣象因子와 分解패턴의 관계를 파악하기 위하여 각 採取期間에 있어서 消失率과 降水量 및 氣溫과의 관계를 Fig.2에 나타냈다. 兩지구 또는 각각의 조사구에 있어서 완전히 일치한 經時的 패턴은 아니지만, 전기간에 걸쳐 비슷한 경향을 보였다. 消失率은 冬期에 작고, 이후 점차 커지면서 夏期에 피크를 나타내어 氣溫 및 降水量과 同調한 季節의 패턴을 보여 이들 氣象因子가 分解에 영향함을 알았다.

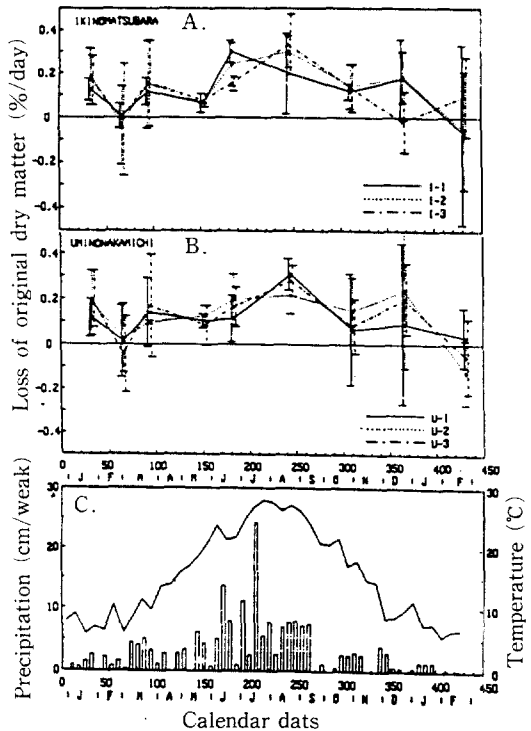


Fig. 2. Rate of daily loss in mass of decomposing pine needles in two experimental site (A and B) over time. Negative values in A and B represent net gains; positive values are losses. Precipitation (vertical bars) and air temperature (curve) of Fukuoka city are shown in C. Vertical bars depict standard errors.

養分の 動態

각 採取期間에 있어서 N, P 및 K의 養分含有率의 變化를 각각 Fig.3-5에 나타냈다. N의 함유율은 兩지역 모두 分解初期부터 增加하는 경향이 보여 시험종료시의 含有率은 初期設定時에 비하여 약 2배였다. 分解初期 약 5개월간의 증가는 미약하였으나, 이후 夏期부터는 增加速度가 빨라졌으며 시험종료시에 있어서는 다소 鈍感하였다. P의 함유율은 각 조사임분간에 다소의 차이는 있으나 전반적으로 類似한 패턴을 나타냈다. 초기 약 5개월간은 저하하였으나, 그후는 N과 같이 增加현상이 나타났으며, 分解初期의 P含有率의 감소는 他보고에서도 認定하고 있으며, 이는 分解初期에 있어서 溶溶性 P化合物의 溶脫에 의한 것으로 생각된다(Blair, 1988). N 및 P에 비하여 K는 가장 明瞭한 경향을 나타냈다. 兩지역 또는 각 조사구간의 차이는 매우 작으며 分解開始 3개월간에 약 70% 急減少하였다. 分解時間의 經過에 따른 N과 P 함유율의 증가는 他보고(許·韓, 1990과 Blair, 1988 및 Lousier and Parkinson, 1978)에서도 인정하고 있다.

이상의 경향은 濃度の 변화이므로, 이는 分解에 따른 litter中の 養分の 量的인 增減과는 반

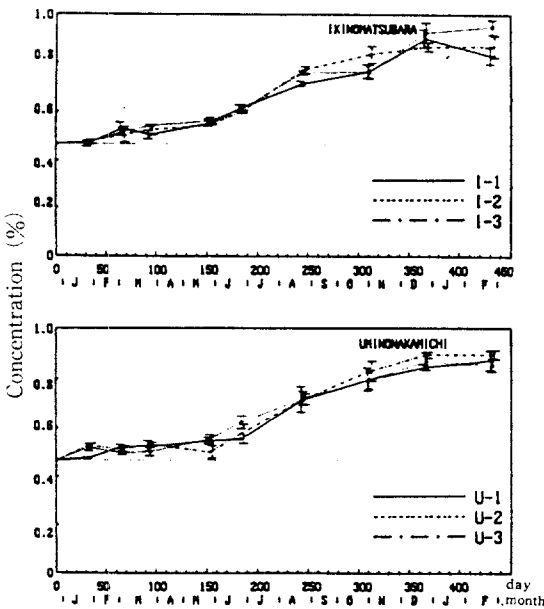


Fig. 3. Changes in nitrogen concentration in decomposing Japanese black pine needle litter in litter bags. Vertical bars depict standard errors.

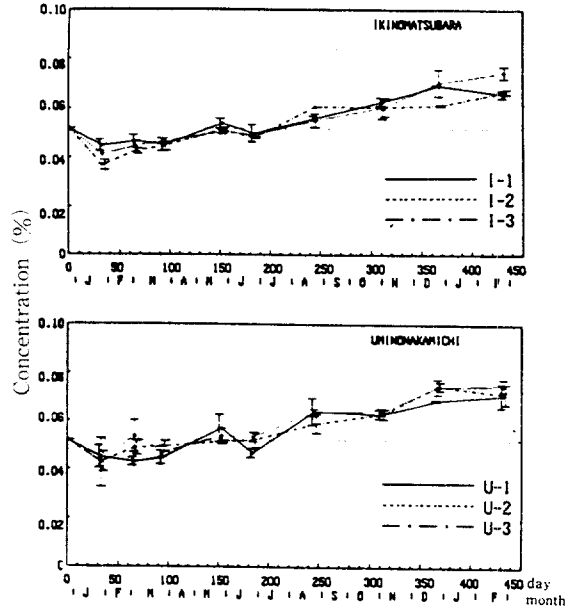


Fig. 4. Changes in phosphorus concentration in decomposing Japanese black pine needle litter in litter bag. Vertical bars depict standard errors.

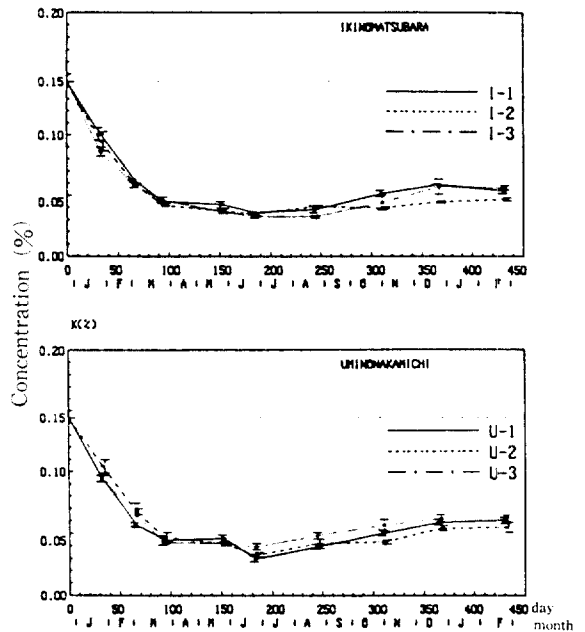


Fig. 5. Changes in potassium concentration in decomposing Japanese black pine needle litter in litter bags. Vertical bars depict standard errors.

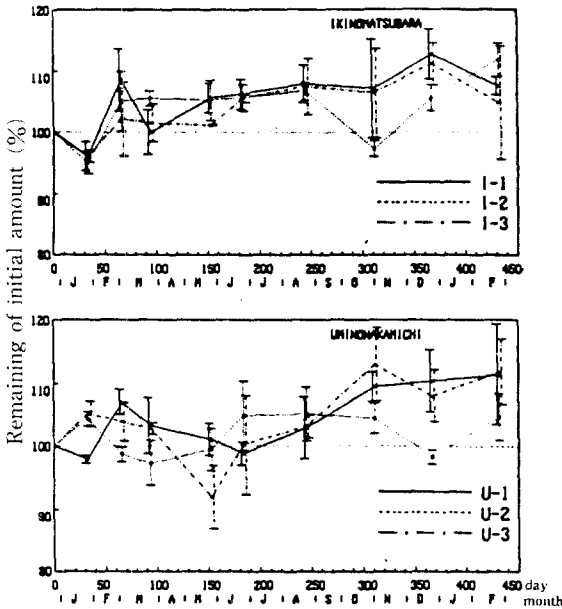


Fig. 6. Percentage of initial absolute amount of nitrogen remaining after various periods of decomposition in litter bags. Vertical bars depict standard errors.

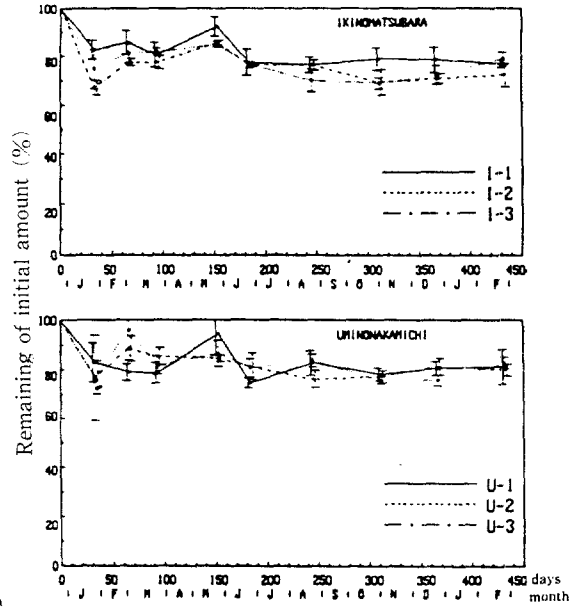


Fig. 7. Percentage of initial absolute amount of phosphorus remaining after various periods of decomposition in litter bags. Vertical bars depict standard errors.

드시 일치하는 것은 아니다. 따라서 含有率과 重量의 관계로부터 구한 養分の 絶對量(設置時の 絶對 養分量을 100으로 했을 때의 殘存率)의 變화를 Fig. 6-8에 나타냈다.

N는 兩지역 및 각각의 林分의 시험초기 단계에서 다소 不規則한 증가 및 감소(溶脫)의 단계를 거쳐 전반적으로 分解가 진행함에 따라 增加하여, 시험종료시기에는 약 110%였다. 이와 같이 絶對養分量의 增加, 즉 純有機化의 단계가 시험종료시까지 진행 되었으나, 純無機化의 단계는 실험기간중에 한해서는 나타나지 않았다. 有機物의 分解過程에 있어서 窒素의 증가에 대해서는 litterfall, 窒素固定, 降水 등에 의한 收入 및 微生物에 의한 窒素의 固定 등의 原因을 생각할 수 있다(Entry et al., 1991과 Blair, 1988과 Louiser and Parkinson, 1978 및 相場 등, 1983). P는 各各의 林分에서 큰 差異는 보이지 않고 分解初期에 減少하여, 分解 약 5개월 후부터는 20%의 감소수준으로 진행하였다. 含有率에 있어서는 N含有率과 마찬가지로 有機化의 경향이 있었으나(Fig. 4), 純有機化의 경향은 보이지 않아 P에 있어서 純有機化 단계를 인정한 예(Blair, 1988과 Gholz et al., 1985)와는 서로 다르다는 패턴을 나타냈

다. K는 가장 明瞭한 패턴을 나타냈으며, 함유율의 변화와 매우 類似했다. 분해초기부터 急減少하여 약 6개월 경과한 후에는 약 80%까지 감소하였으며, 그후 거의 安定상태였다. N 및 P보다 K는 분해초기 단계부터 放出되어 土壤으로의 移動이 빠른 養分元素임을 알 수 있다.

分解에 따른 各 養分에 대하여 각 採集기간에 있어서의 1日當 消失率을 Fig. 9-11에 나타냈다. 各 養分마다 서로다른 패턴을 나타냈으며 또한 季節의으로도 차이가 보였다. 모든 養分元素에서 陰(-)의, 즉 順護得을 나타내는 시기가 있으며 이러한 현상에 대해 Klemmdson(1985)은 林分內 設置場所의 局所的인 立地の 차이 또는 測定期間에 있어서의 分解條件의 不均一性 등을 그 原因으로 들고있다. N는 전반적으로 다른 養分元素보다 陰의 값을 나타내어 增加하는 시기가 많았으며 뚜렷한 季節의 경향은 보이지 않았다. P는 兩지역에 있어서 패턴이 매우 유사하였으며, 전 기간에 있어서 前半기에는 增減의 幅이 컸으나 그후는 安定상태를 유지하였다. N과는 달리 P와 K는 분해초기의 消失경향은 서로 다르나 殘留 litter의 충분한 水温을 유지하는 夏期(Fig. 2)에 消失이 컸다.

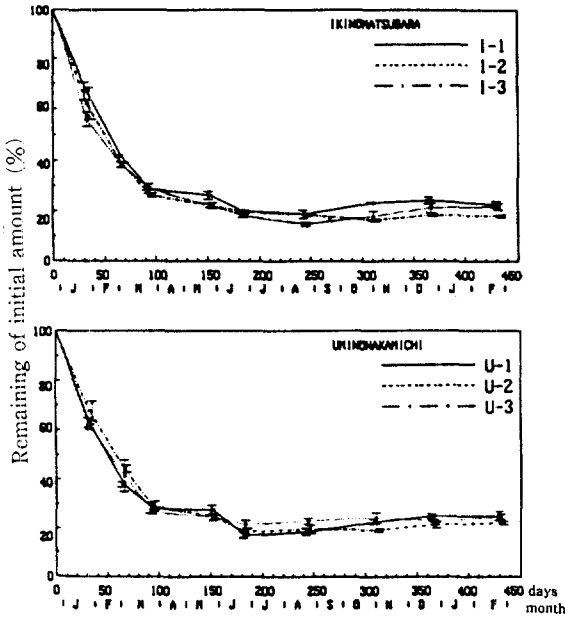


Fig. 8. Percentage of initial absolute amount of potassium remaining after various periods of decomposition in litter bags. Vertical bars depict standard errors.

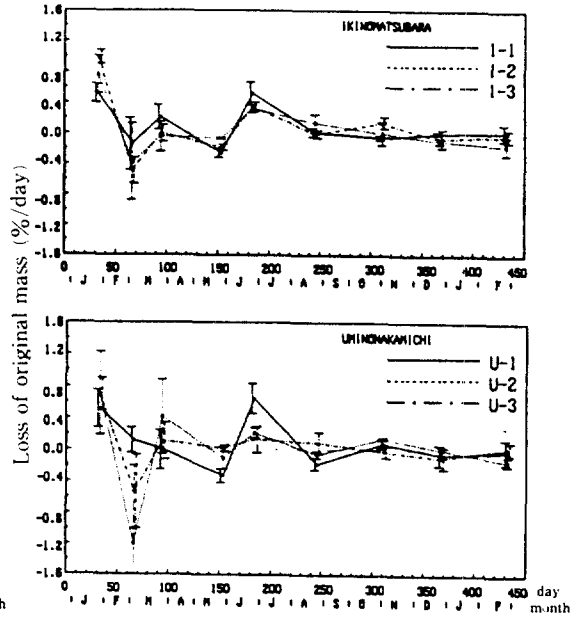


Fig. 10. Percentage loss per day of original phosphorus in decomposing Japanese black pine needle litter. Vertical bars are standard errors. Negative values represent net gains; positive values are losses.

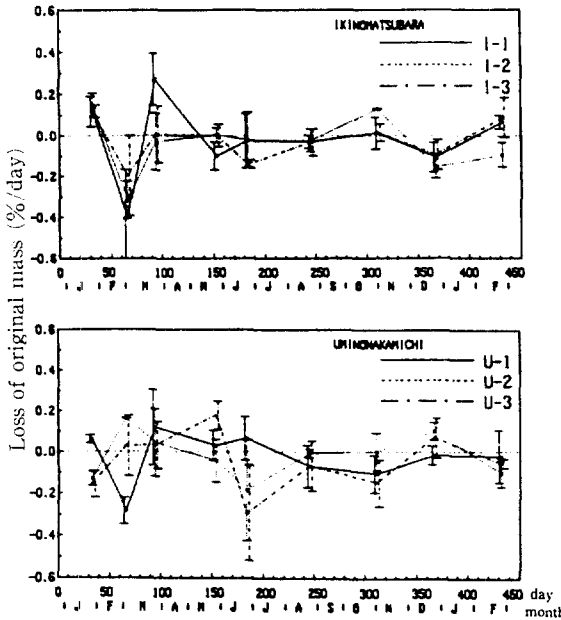


Fig. 9. Percentage loss per day of original nitrogen in decomposing Japanese black pine needle litter. Vertical bars are standard errors. Negative values represent net gains; positive values are losses.

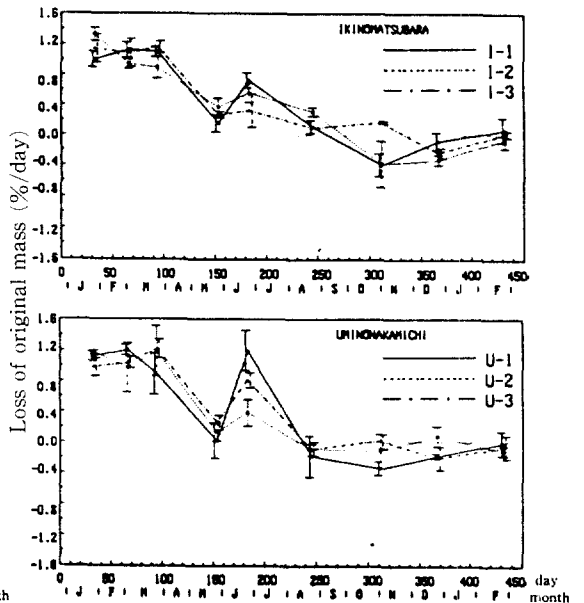


Fig. 11. Percentage loss per day of original potassium in decomposing Japanese black pine needle litter. Vertical bars are standard errors. Negative values represent net gains; positive values are losses.

葉 litter의 분해에 따른 養分의 放出순서를 MacLean 등(1978)은 闊葉樹에서 $K > Mg > P > Ca > N$, 針葉數에서 $K > Ca \geq Mg > N > P$ 의 順으로, Staff 등(1982)은 Scots pine의 葉 litter 분해에 있어서 K, Ca 및 Mg는 初期부터 放出되었으나 N, P 및 S는 증가하는 시기가 있음을 보고하였다. 本 實驗의 海松葉 litter에는 $K > P > N$ 의 順으로 放出되었으며 또한 N가 增加하는 시기가 있었다.

結 論

이와 같이 분해에 따른 無機成分의 放出패턴은 有機物 및 成分의 종류에 따라 다르나, K, Ca, Mg 등은 分解初期부터 放出되는데 대해 P 및 N는 有機化의 단계를 거침으로서 集積하는 시기가 있다. 이것은 葉 litter의 分解初期에 있어서 前者에 속하는 元素가 過剩으로 존재하는데 대하여, 後者の 元素는 微生物 活動의 制限要因이 되기 때문이라고 생각된다.

본 연구의 實驗期間동안 N는 有機化의 過程에 있었으며, 無機化의 단계를 나타내지 않았다.

森林은 일반적으로 N와 P에 관하여 缺乏狀態에 있으며(河田, 1971), 특히 海岸 海松林의 土壤은 일반 森林土壤에 비해 N가 더욱 결핍되어 있다(李 등, 1987). 이것이 上記와 같은 litter의 分解에 따른 無機成分의 放出의 差와 관련한다고는 단순히 說明하기 어려우나 自己施肥系로서의 森林에 있어서 林木의 成長을 制限하는 無機成分으로서 특히 N는 중요한 요인으로 생각된다.

引用文獻

1. Aber, J.D. and J.M. Melillo. 1980. Litter decomposition: measuring state of decay and percent transfer into forest soils. Can. J. Bot. 58: 416-421.
2. 相場芳憲·生原喜久雄·川端省三. 1983. 地力に及ぼす集約的保有作業の影響(II) 生枝打ちで落とされたスギ 針葉の分解と養分動態. 日林誌 65: 215-219.
3. Berg, B., K. Hannus, T. Popoff, and O. Thender. 1982. Changes in organic chemical components of needle litter during decomposition. Long-term decomposition in a Scots pine forest. I. Can. J. Bot. 60: 1310-1319.
4. Berg, B., B. Wessen and G. Ekbohm. 1982. Nitrogen level and decomposition in Scots pine needle litter. Oikos 38(3): 291-296.
5. Blair, J.M. 1988. Nitrogen, sulfur and phosphorus dynamics in decomposing deciduous leaf litter in the southern Appalachians. Soil Biol. Biochem. 20(5): 693-701.
6. Entry, J.A., C.L. Cathy, and K. Cromack. 1991. Litter decomposition and nutrient release in ectomycorrhizal mat soils of a Douglas fir ecosystem. Soil Biol. Biochem. 29(3): 285-290.
7. Fogel, R. and K. Jr Cromack. 1977. Effect of habitat and substrate quality on douglas-fir litter decomposition in western Oregon. Can. J. Bot. 5(10): 1632-1640.
8. Gholz, H.L., C.S. Perry, W.P. Cropper, and L.C. Hendry. 1985. Litterfall, decomposition, and nitrogen and phosphorus in a chronosequence of Slash pine (*Pinus elliotii*) plantation. For. Sci. 31(2): 463-478.
9. Gosz, J.R., G.E. Likens, and F.H. Bormann. 1973. Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook forest, New Hampshire. Ecol. Monogr. 43: 173-191.
10. Huish, S., M.A. Leonardo, and J.M. Anderson. 1985. Wetting and drying effects on animal/microbial mediated nitrogen mineralization and mineral element losses from deciduous forest litter and raw humus. Pedobiologia. 28: 177-183.
11. 許成斗·韓相燮. 1990. 잣나무林과 신갈나무林의 Litterfall과 그 分解에 따른 養分動態. 江原大演報 10: 3-15.
12. Jenny, H., S.P. Gessel, and F.T. Bingham. 1949. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil. Sci. 68: 419-432.
13. 河田 弘. 1989. 森林土壤學概論. 博友社.
14. 河田 弘. 1987. 海岸砂丘地におけるクロマツ林土壤に関する研究 -土壤の理化學的 性質および林床植生と微地形との關係-. 新大演報 20: 79-100.
15. 河田 弘. 1971. 森林生態系における養分循環(總說). 森林立地, XIII(1): 1-16.

16. 河原輝彦・佐藤明. 1977. アカマツの葉, 幹および根の分解率の推定. 日林誌. 59(9) : 321-326.
17. Klemmedson, J.O., C.E.Meier, and R.E. Campbell. 1985. Needle decomposition and nutrient release in ponderosa pine ecosystems. For. Sci. 29(3) : 647-660.
18. Luise, J.D. and Parkinson. 1978. Chemical element dynamics in decomposing leaf litter. Can. J. Bot. 56 : 2795-2812.
19. MacLean, D.A. and R.W. Wein. 1978. Weight loss and nutrient changes in decomposition litter and forest floor material in New Brunswick forest stands. Can. J. Bot. 56 : 2730-2749.
20. Meetemeyer, V. 1978. Macroclimatic and lignin control of litter decomposition rates. Ecol. 59 : 465-472.
21. Melio, J.M., J.D. Aber, and J.F. Muratore. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamic. Ecol. 63 : 621-626.
22. 中村松三・須崎民雄. 1984. 小規模生態系における物質収支(IX) -リターの平均消失率-. 95回 日林論 : 265-266.
23. O'Connell, A.M. 1987. Litter decomposition, soil respiration and soil chemical and biochemical properties at the three contrasting site in Karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forest of south-western Australia. Aust. J. Ecol. 12 : 31-40.
24. 小笠原隆三. 1988. 砂丘地におけるクロマツ林の生長に関する生理學のおよび生態學的研究. 鳥大演研報 17 : 37-137.
25. Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological system. Ecol. 44 : 322-331.
26. Staff, H. and B. Berg. 1982. Accumulation and release of plant nutrients in decomposing Scots pine litter. Longterm decomposition in a Scots pine forest II. Can. J. Bot. 60 : 1561-1568.
27. Swift, M.J., O.W. Heal, and J.M. Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in Ecology Vol 5, Blackwell Scientific, Oxford, England. 372 P.
28. 李明鐘・須崎民雄・矢幡久. 1987. 海岸沙土におけるクロマツ林の養分循環- 土壤における養分集積-. 日林九支研論集. 40 : 67-68.