

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06333

研究課題名（和文）都市化による土壌の化学的性質の変化 - 特に酸の中和 - が都市林の炭素動態に及ぼす影響

研究課題名（英文）The effects of changes in chemical properties of soil especially neutralization of acid by urbanization on carbon dynamics in urban forests

研究代表者

高橋 輝昌（Takahashi, Terumasa）

千葉大学・大学院園芸学研究院・准教授

研究者番号：20291297

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：都市化に伴い、土壌中の粉塵由来のカルシウム、マグネシウムなどの濃度が高まり、植物に吸収されるマンガン量が相対的に減少したこと、窒素濃度が増加したことにより落葉などに含まれる難分解性有機物の分解が抑制されて土壌中の炭素濃度が高まった。また、都市化による粉塵の影響で土壌の酸が中和され、土壌動物の多様性が低下したことで、土壌動物による落葉分解が抑制されたことも土壌中の炭素濃度を高める要因であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

都市緑地を管理する際に、都市環境が都市緑地生態系におよぼす影響に配慮する必要がある。現在の都市緑地での植物管理は、山岳地の森林や農地といった、都市化の影響をあまり受けていない地域で得られた知見に基づいて行われている。今後、都市域での緑地管理には、自然界の物質循環の要素を取り入れた管理を行うことが望ましく、都市環境が物質循環特性におよぼす影響を明らかにした本研究の成果が活かされたいと考える。

研究成果の概要（英文）：With urbanization, the concentration of calcium, magnesium, etc. derived from dust in the soil increased, the amount of manganese absorbed by plants decreased relatively, and the nitrogen concentration increased, resulting in difficult decomposition contained in leaves. Decomposition of sex organic substances was suppressed and the carbon concentration in the soil increased. In addition, the acid in the soil was neutralized by the influence of dust due to urbanization, and the diversity of soil animals was reduced, so that the decomposition of foliage by soil animals was suppressed, which was also a factor in increasing the carbon concentration in the soil.

研究分野：緑化学

キーワード：都市化 都市緑地 土壌 有機物分解 生物多様性 土壌酸性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

都市林では、二酸化炭素炭素の固定機能に占める土壌の役割は大きい。土壌での炭素(有機物)の動態には土壌の化学的・生物的性質と土壌に供給される有機物の質が相互に作用しながら影響する。これまでの研究で、都市林周辺の都市化の進行に伴い、都市林土壌の酸が中和され、炭素濃度が高まる傾向を見いだした。

私たちは、土壌有機物濃度が増加するしくみとして、難分解性有機物の動態に注目した。Berg & McLaugherty (2004)によれば、植物が作り出す難分解性有機物であるリグニン(1) マンガン(Mn)が少ないとリグニンを分解する酵素であるマンガンペルオキシダーゼの生成が少なくなるので分解されにくく、また、(2) 窒素(N)濃度が高いとリグニン分解酵素の活性が低下するので分解されにくくなる。

都市化に伴う土壌の酸の中和は、(1) 可給態 Mn を不可給化させ(後藤 2001)、植物による Mn の吸収を行われにくくすることで、植物体や落葉落枝の Mn 濃度を減少させる一方で、(2) 微生物を活性化させ、微生物量を増加させる。その結果、無機態 N の生成が活発化し、植物による N の吸収が増加することで、植物体や落葉落枝の N 濃度を高めると予想される。これらはいずれも難分解性有機物の分解を阻害し、土壌有機物を増加させるように(土壌での炭素蓄積機能を高めるように)作用する。

都市化に伴う土壌炭素濃度の増加のしくみは、これらのいずれか、あるいは両方が関わっていると予想される。

## 2. 研究の目的

都市化に伴う土壌の酸の中和が、土壌での炭素動態を変化させるしくみを明らかにすることが本研究の目的である。本研究では、(1) 都市林土壌の酸性が土壌の養分特性(特にマンガンと窒素の可給性)に及ぼす影響、(2) 土壌の養分特性が植物から土壌に供給される有機物(落葉落枝)の質(分解されやすさ)におよぼす影響、(3) 植物の落葉落枝の元素濃度と分解特性の関係、(4) 土壌酸性が土壌中で有機物を分解・無機化する微生物の量や活性に及ぼす影響、およびそれらの相互作用について検討し、都市化に伴う土壌の酸の中和が土壌での有機物動態を変化させ、都市林土壌の炭素濃度を増加させるしくみを解明する。

## 3. 研究の方法

### (1) 都市化が林土壌の化学的性質と樹木枝葉の養分濃度におよぼす影響の把握

都市域(千葉県北西部)の樹林地と都市化の影響をあまり受けていない山岳地(群馬県南部)の森林で共通して見られた樹種(イヌシデ)について、枝葉を採取し養分元素濃度を測定した。また、枝葉を採取した個体の樹冠下で土壌を採取し、化学的性質を測定した。

### (2) 植物の落葉落枝の元素濃度と分解特性の関係の把握

窒素濃度とマンガン濃度が様々なイヌシデの枝葉を粉砕して土壌に混ぜ、室内培養して分解速度の変化に元素濃度がどのように影響するかを調べた。

### (3) 土壌の酸性度が土壌生物による有機物分解におよぼす影響の把握

(2)と同様の樹林地において、土壌中の動物相をハンドソーティング法で、土壌生物による有機物の分解活性をリターバッグ法で調査し、それらと土壌酸度との関係について検討した。

### (4) 地域による温度環境の違いが有機物分解特性におよぼす影響の把握

有機物分解は、温度環境の影響を受けやすい生物活動であるため地域による温度環境の影響を受ける。そこで、いくつかの樹種の枝葉に含まれる炭素の無機化特性を反応速度論的解析によって解析し、得られたパラメータを使って温度環境の異なる地域での有機物分解速度の違いを推定した。

## 4. 研究成果

### (1) 都市化が林土壌の化学的性質と樹木枝葉の養分濃度におよぼす影響

都市化の影響をあまり受けていない山岳地の森林と、都市域の緑地で、土壌の化学的性質と、全ての調査地に共通して生育していたイヌシデの枝葉の元素濃度を比較した。都市域の緑地では土壌の交換性塩基(植物が利用できる形態の養分)が増加し(図 1)、土壌の養分濃度の影響を受けて、枝葉に含まれるマンガン濃度と窒素濃度が山岳地よりも高かった(図 2,3)。

### (2) 植物の落葉落枝の元素濃度と分解特性の関係

窒素濃度やマンガン濃度が高い枝葉では分解の初期に分解が促進され、分解の後期に分解が抑制された(図 4)。一般に分解の初期には易分解性の有機物が分解され、分解の後期にはリグニ

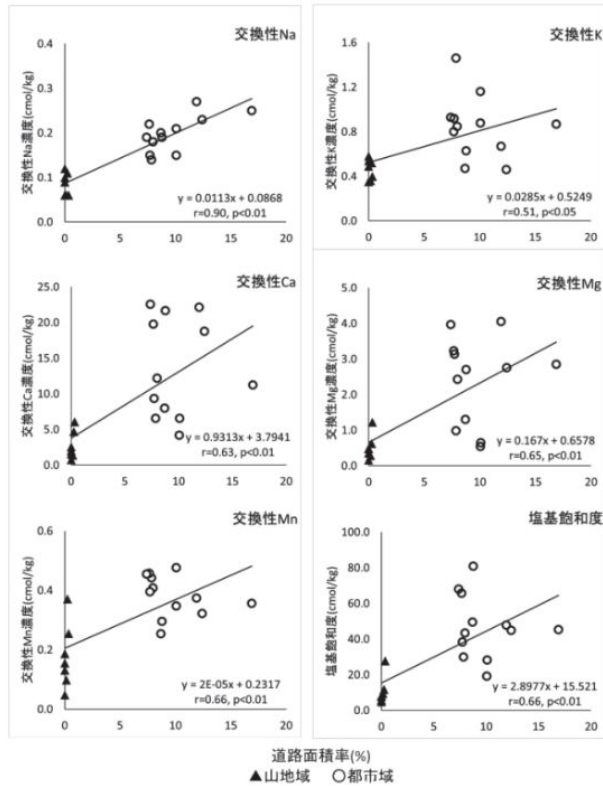


図1 道路面積率と交換性塩基濃度の関係

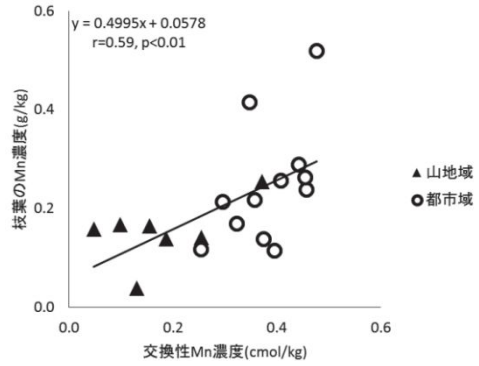


図2 交換性Mnと枝葉のMn濃度の関係

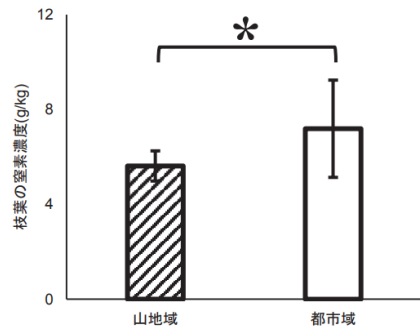


図3 山地域と都市域の枝葉の窒素濃度

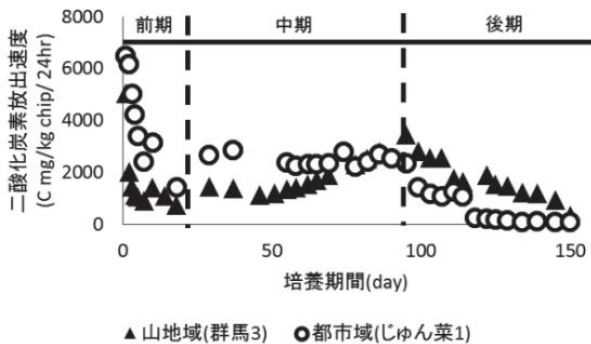


図4 枝葉に含まれる炭素の無機化速度の経時変化

ンなどの難分解性の有機物が分解される。マンガンはリグニン分解酵素の材料となる。窒素は微生物の増殖に不可欠な元素であると同時に、有機物分解の作用により無機態窒素に形態を変化させるとリグニン分解を阻害する。分解前期にはマンガンによるリグニン分解促進作用と、窒素による有機物を分解する微生物の増殖促進作用により主に易分解性有機物の分解が促進される。しかし、分解後期には蓄積された無機態窒素によって難分解性有機物の分解が抑制される。

これらの作用により、都市化の進行により土壌中には難分解性の有機物が蓄積さ

れやすくなり、有機物濃度が高まると考えられた。

(3) 土壌の酸性度が土壌生物による有機物分解におよぼす影響

土壌動物相の多様性は、土壌の酸の中和に伴って低下する傾向にあった(図5)。土壌動物相の多様性の低下に伴って、大型・中型動物による落葉分解量が減少し(図6)、さらに、土壌炭素(有機物)濃度が高まる傾向にあった(図7)。また、土壌有機物濃度が高い土壌では微生物活性が高く、土壌生物による有機物分解活動に占める微生物による分解の割合が高いことが示唆された(図8)。

これらの結果から、都市化による土壌の酸の中和によって、土壌動物相の多様性が低下し、大型・中型土壌動物による植物遺体(落葉など)の分解が抑制され、未分解のまま土壌に供給される有機物が増加して土壌有機物濃度が高まることが明らかにされた。

このように、都市化による土壌酸の中和による植物遺体の分解抑制のしくみを明らかにした。

また、土壌生物による有機物分解活性を簡易に測定する方法の検討もおこなった。オランダの研究者によって開発された紅茶のティーバッグを一定期間土壌に埋設し、内容物の減少量から有機物分解活性の指標を得る「ティーバッグインデックス」の有効性を南関東地方で検証し、夏季の調査では原法よりも埋設期間を短くし、埋設期間中の積算地温が  $40,000 \text{ } \cdot \text{hr}$  未満になるように調整する必要があることを指摘した。

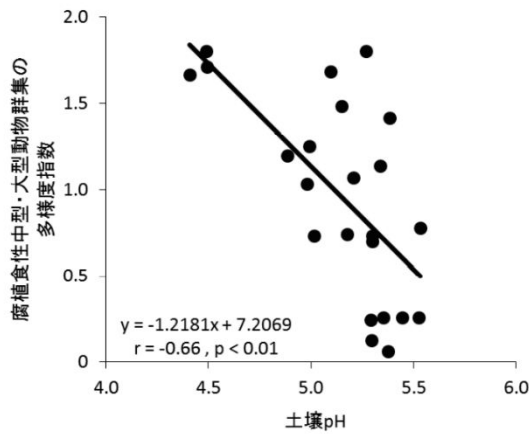


図5 土壌pHと土壌動物の多様度指数の関係

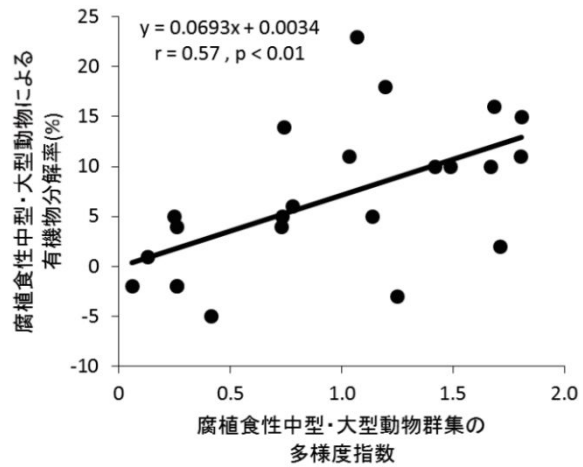


図6 土壌動物の多様度指数と土壌動物による有機物分解率の関係の関係

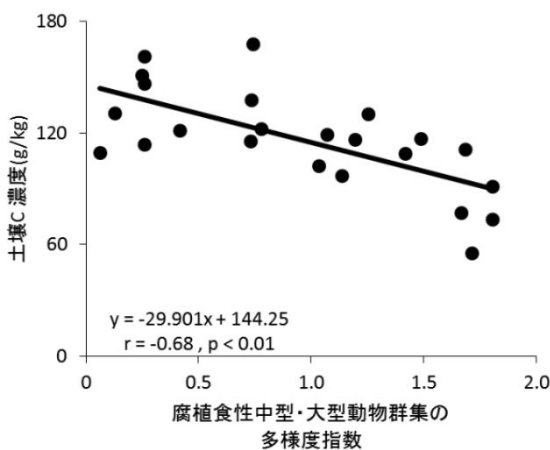


図7 土壌動物の多様度指数と土壌炭素濃度の関係

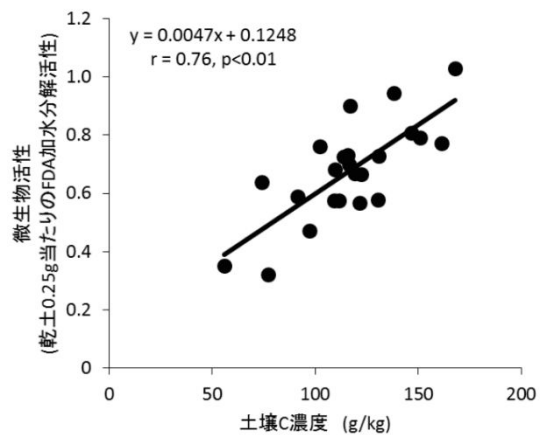


図8 土壌炭素濃度と微生物活性の関係

#### (4) 地域による温度環境の違いが有機物分解特性におよぼす影響

都市緑地で発生する(都市化の影響を受けた)植物廃材(枝葉)の分解特性が、温度環境の異なる地域でどのように変化するかを、室内培養実験に基づき推定した。樹種により枝葉の分解特性が異なることが知られているので、試料として常緑性のものと落葉性のものを含むように、エノキ、ケヤキ、ネムノキ、ミズキ、スダジイ、マテバシイの6樹種の枝葉を選んだ。これらの枝葉の分解特性への影響が大きいとされるC/N比は23から37であった。

これらの枝葉を粉碎し、有機物(枝葉)を分解させる微生物源である土壌と混入して、異なる温度段階で培養した。有機物の分解に伴い発生する二酸化炭素の発生速度の変化を経時的に測定し、反応速度論的解析によって、有機物に含まれる無機化される炭素量と全炭素に占める割合、炭素の無機化にかかる時間の指標、無機化に必要な(一定量の二酸化炭素を放出させるのに必要な)エネルギー量を推定した。反応速度論的解析によって求めた炭素の無機化に必要なエネルギー量と様々な地域(札幌、仙台、船橋、大阪、福岡)の気象データから、地域間の枝葉の分解にかかる期間を推定した。

枝葉の乾燥重量1kgに含まれる二酸化炭素にまで分解される炭素の量は、樹種により99から116gであった。また、枝葉に含まれる全炭素に占める無機化される炭素の割合は20から25%であった。枝葉から1モルの二酸化炭素を放出させるために必要なエネルギー(Ea)はおよそ13,000から18,000calであった。枝葉に残存している無機化される炭素のうち、1日に無機化されるものの割合(炭素の無機化にかかる時間の指標)は0.033から0.077であった(表1)。

Eaと上記各地域の年平均気温から、各地における有機物分解に要する期間の相対値を求めた。有機物分解にかかる期間は最も分解の遅い札幌では最も早い福岡の1.6から2.3倍であった(表2)。

表1. 各樹種の炭素無機化特性に関わるパラメータ

	C濃度(g/kg)	C0(g/kg)	Ea(cal/mol)	k(/day)	無機化割合(%)
エノキ	412.8	107.92	16809.72	0.077	26.14
ケヤキ	452.2	109.72	10608.48	0.046	24.26
ネムノキ	478.7	119.54	13302.12	0.053	24.97
ミズキ	460.4	116.95	11262.11	0.054	25.4
スダジイ	470.3	101.39	9581.4	0.053	21.56
マテバシイ	486.3	100.12	12818.02	0.033	20.59

表2 船橋を基準(1.00)としたときの他地域の分解に要する期間の相対値

	エノキ	ケヤキ	ネムノキ	ミズキ	スダジイ	マテバシイ
札幌	1.92	1.51	1.68	1.55	1.45	1.65
仙台	1.32	1.19	1.25	1.2	1.17	1.24
船橋	1	1	1	1	1	1
大阪	0.85	0.9	0.88	0.9	0.91	0.88
福岡	0.83	0.89	0.87	0.89	0.9	0.87

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 HITOMI Takuya、WATANABE Takumi、TAKAHASHI Terumasa	4. 巻 46
2. 論文標題 Relationship between detritivore diversity and organic matter decomposition characteristics in urban green area	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology	6. 最初と最後の頁 9～14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7211/jjsrt.46.9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 TAKAHASHI Terumasa、MORINO Jin、TERADA Kento、TSUCHIDA Kento、HITOMI Takuya	4. 巻 46
2. 論文標題 Examination of measuring method of soil microbial activity using tea bag	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology	6. 最初と最後の頁 146～149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7211/jjsrt.46.146	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takuya HITOMI、Akiko INAMI、Terumasa TAKAHASHI	4. 巻 45
2. 論文標題 Comparison of elemental concentrations and decomposition characteristics of plant organic matters of <i>Carpinus tschonoskii</i> Maxim. in mountainous areas and urban green areas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology	6. 最初と最後の頁 15～20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7211/jjsrt.45.15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------