

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06144

研究課題名(和文) 団粒再形成に影響する要因の解明に関する基礎的研究

研究課題名(英文) A basic study on elucidation of crumb re-forming factors

研究代表者

小野 裕 (Ono, Hiroshi)

信州大学・学術研究院農学系・助教

研究者番号：00231241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)： 土壌攪乱により破壊された団粒の再形成過程を明らかにするため、調整した団粒試料を用いた室内・野外培養実験を行った。室内培養実験では、培養4週で団粒の再形成が認められ、適度な乾燥-湿潤の繰り返しは団粒再形成に重要であることが明らかとなった。野外培養実験では、培養3-4週で団粒の再形成が認められ、培養試料表面の被覆が団粒再形成に伴う土壌物理性の向上に影響し、被覆がない条件下では土壌物理性の向上が阻害されることが明らかとなった。

以上から、団粒が比較的短期間で再形成されること、団粒の再形成過程において水分状態が影響すること、土壌物理性の向上には被覆による保護が重要であることなどが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

団粒が発達した森林土壌は浸透・透水性が高く、水土保持上重要な役割を担う。しかし近年、大型林業機械の導入が進み、土壌攪乱による団粒破壊に伴う森林土壌の水土保持機能の低下が危惧される。本研究では攪乱された土壌の再生を目標に、破壊された団粒の再生に関して、その可能性や、再生に関わる要因や必要な時間に関して検討した。その結果、野外条件下においても団粒が短期間で再生すること、団粒の再生には適度な乾燥と湿潤の繰り返しは重要であること、団粒再成に伴う土壌物理性の回復には土壌表面の被覆が重要な役割を果たすことなどが明らかになった。これらの知見は土壌再生に向けた今後の取り組みの大きな指針となるものである。

研究成果の概要(英文)： In order to clarify the process of re-formation of soil aggregates in forest soils destroyed by soil disturbance, laboratory and field culture experiments were conducted using prepared soil aggregate samples.

In the indoor culture experiment, clusters were re-formed after 4 weeks of incubation, and the repetition of moderate drying and wetting was important for the re-formation of aggregates. In the field culture experiment, aggregates were re-formed after 3-4 weeks of incubation. The surface cover of the sample affected the improvement of soil physical properties associated with the re-formation of clusters, and the improvement of soil physical properties was inhibited under the no-cover condition.

These results indicate that the soil aggregates re-form in a relatively short time, that the moisture condition affects the re-formation process of soil aggregates, and that the protection by soil cover is important for the improvement of soil physical properties.

研究分野： 治山(山地森林地帯における水土保持)

キーワード： 団粒 森林土壌 団粒再形成

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

団粒が発達した良好な森林土壌は、孔隙に富み、浸透・透水性が高く、林木の良好な生育基盤となると同時に、地表流の発生を抑制するなど水土保持上も重要な役割を担っている。しかし、森林伐採などの人為的影響により土壌表層部の物理性が変化することが報告されている。本研究課題の研究代表者も、ヒノキ林伐採 1~3 年後の追跡調査により、伐採後に団粒の破壊により孔隙組成が変化し透水性が低下したことを明らかにしている(小野, 2005)。

近年では、山間地域で増加しているシカの踏圧や大型林業機械の導入による土壌の攪乱や締固めなどが問題となっており(吉村ら, 2010. 佐藤ら, 2018. など), 浸透・透水性の低下, 地表流や土壌侵食の発生などが危惧される。したがって、適切な野生動物管理・森林管理によって土壌を保全することが重要であるが、その一方で攪乱された土壌の回復に必要な条件を明らかにすることも大きな課題である。

そこで、攪乱により破壊された団粒が再生可能なのか、また、再生が可能だとして、団粒再生に関わる要因は何であるのか、といった点について明らかにする必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、土壌構造の成因に深く影響する土壌の水分条件や腐植量について着目し、人工的な環境下ならびに自然環境下において、破壊された団粒の再形成過程について検討する。また、土壌水分条件や腐植量は有機物分解に関わる土壌微生物の活動にも影響を与えることから、土壌微生物活性の測定も行い、土壌生化学的な視点からの検討も行う。

人工的な環境下での団粒再形成過程については室内培養実験により検討する。一方、自然条件下での団粒再形成過程は野外培養実験により検討する。これらの培養実験を通して、団粒再形成にかかわる土壌水分条件や腐植量、土壌微生物の影響を明らかにし、土壌再生に向けた指針を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 概要

本研究では人工的な環境下ならびに自然環境下での団粒再形成過程を明らかにする目的で、室内および野外での培養実験を行った(室内培養実験, 野外培養実験, 野外培養実験)。これらの培養実験では、ヒノキ人工林から A 層の団粒と F 層の腐植を採取し、風乾後に 1 mm ふるいを通過させたものをそれぞれ団粒試料、腐植試料とし、これらを混合するなどしたものを培養試料として実験に用いた。団粒の再形成・発達程度は団粒分析試験(水中ふるい分け法)により評価し、1mm 以上の耐水性団粒が形成された場合、団粒が再形成されたと評価した。その際、団粒の再形成・発達程度は団粒百分率によって定量化した。

(2) 室内培養実験

室内培養実験 室内培養試験では、団粒試料に対し腐植試料を質量割合 20% で混合させ、直径 50 mm、高さ 25.05 mm の金属製試料円筒に充填して培養試料とした(腐植 20% 試料)。培養試料は、温度 25°C、湿度 55% に設定した恒温恒湿器内で飽和状態を保ったまま培養を行った。培養開始前(培養 0 週)、培養 4 週間、8 週間、12 週間後の試料について団粒分析試験、孔隙解析試験、土壌微生物活性の測定等を行った。

(3) 野外培養実験

野外培養実験 野外培養実験 では、団粒試料に対し腐植試料を質量割合で 0% と 20% で混合させ、メッシュ状の容器に充填して、上面に不織布 1 枚と樹脂製のネット 1 枚を敷き、培養試料とした(腐植 0% 試料, 腐植 20% 試料)。試料採取を行った林内に試験区を設け、2 条件の培養試料を必要数設置した。このうち、両条件の培養試料の 1 つには土壌水分センサと温度センサを埋設し、試料の水分量と温度を観測した。また、試験区の周辺に雨量計 3 台と温度センサを設置し、林内の雨量と気温を観測した。培養開始から 5 週間、12 週間、21 週間後に試料を回収し、培養開始前(培養 0 週)の試料も含めて団粒分析試験、孔隙解析試験、飽和透水係数の測定、土壌微生物活性の測定、炭素・窒素量の測定等を行った。

(4) 野外培養実験

野外培養実験 野外培養実験 では腐植 0% 試料を直径 50 mm、高さ 25.05 mm の金属製試料円筒に充填し、上面に不織布 1 枚を敷いて培養試料とした。試料採取を行った林内に試験区を設け培養試料を設置した。この際、設置した培養試料の上面を樹脂製ネット 1 枚で覆ったものを被覆なし条件とし、ネット 3 枚で覆ったものを被覆あり条件とした。また、野外培養実験 と同様に、メッシュ状容器に試料を充填して土壌水分センサと温度センサを埋設し、培養試料と同様に被覆なし、被覆ありの 2 条件を設定して試料の水分量と温度を観測した。また、試験区の周辺に

雨量計 3 台と温度センサを設置し、林内の雨量と気温を観測した。培養開始から 3 週間、6 週間、32 週間、46 週間後に培養試料を回収し、培養開始前の試料(培養 0 週)も含めて団粒分析試験、孔隙解析試験、飽和透水係数の測定、土壌微生物活性の測定、炭素・窒素量の測定等を行った。

4. 研究成果

(1) 室内培養実験

室内培養実験では、培養開始前、培養 4 週間、8 週間、12 週間の試料について団粒分析試験、孔隙解析試験、土壌微生物活性の測定等を行った。

その結果、培養 4 週間以降で土壌微生物活性が高まり、耐水性団粒の形成が認められた。しかし孔隙量には大きな変化は認められなかった。一方、これまで行ってきた室内培養試験では、適度に乾燥と湿潤を繰り返す培養条件下で耐水性団粒の形成と孔隙量の増加が認められたことから(小野ほか, 2019)、適度の乾燥 - 湿潤が物理性の回復に重要であると考えられた。

(2) 野外培養実験

野外培養実験では、培養開始前(培養 0 週)、培養 5 週間、12 週間、21 週間の試料について、団粒分析試験、孔隙解析、飽和透水係数の測定、土壌微生物活性の測定、炭素・窒素量の測定等を行った。

その結果、両条件の培養 5 週以降で培養 0 週よりも団粒百分率が増加したことが明らかになった(図 1)。しかし培養 5 週では、両条件とも団粒百分率が増加し、団粒が再形成しているにもかかわらず、粗孔隙率や透水係数が低い値を示した(図 2, 3)。これは、培養 5 週までの期間で降水量が多く、雨滴衝撃によって孔隙が潰されたことが原因ではないかと考えられた。また、培養 21 週では、団粒の発達に伴って粗孔隙量が増加していたが、透水性は低い値を示した(図 2, 3)。この期間では、試料回収前に培養試料の乾燥と降雨による湿潤化が繰り返されており、スレーキングによって培養試料表面にクラストが形成されたことが影響したと考えられた。

以上から、野外条件下においても比較的短期間で団粒の再形成が可能であることが明らかになった。しかし、雨滴衝撃やスレーキングが粗孔隙の発達や透水性の向上を阻害することが推察され、これらの外的要因から土壌を保護する必要があると考えられた。

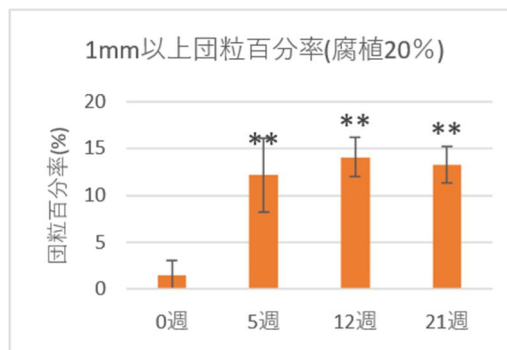
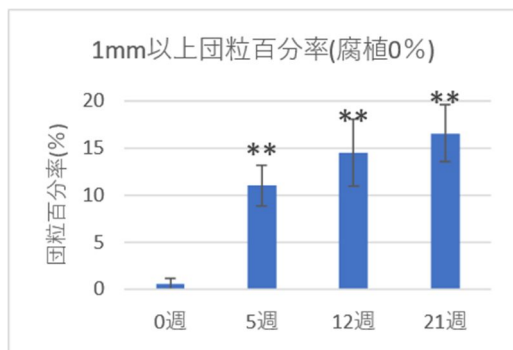


図 1 培養に伴う団粒百分率の変化

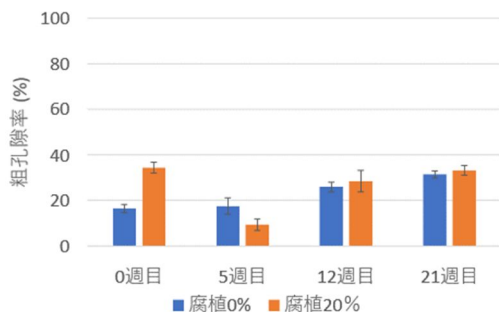


図 2 培養に伴う粗孔隙率の変化

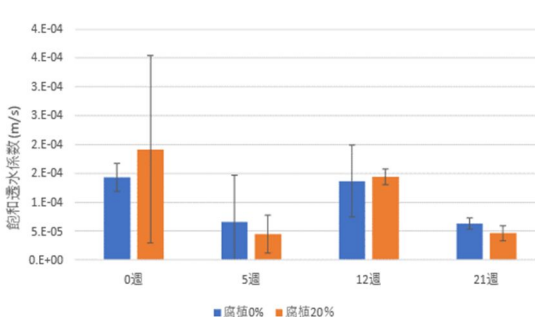


図 3 培養に伴う透水性の変化

(3) 野外培養実験

野外培養実験では、培養開始前(培養 0 週)培養 3 週間、6 週間、32 週間、46 週間の試料について、団粒分析試験、孔隙解析、飽和透水係数の測定、土壌微生物活性の測定、炭素・窒素量の測定等を行った。その結果、両条件とも培養 3 週間で団粒再形成が認められ、以降も再形成が進み、とくに被覆なしの条件で顕著であった(図 4)。孔隙組成や透水性は、両条件とも培養 3 週から 32 週では大きな変化はなかったが、46 週で粗孔隙量が増加し(図 5)、透水性が向上した(図 6)。この物理性の変化には被覆条件による差異はなかった(図 5, 6)。このように、被覆な

しの条件でより団粒の再形成が進んでいたにもかかわらず、粗孔隙率や透水性などの物理性の向上は被覆ありの条件と同程度であった（図5, 6）。このことから、被覆なしの条件では団粒発達に伴う土壌物理性の向上が阻害されたと推察され、その要因としては雨滴衝撃やスレーキングが考えられた。

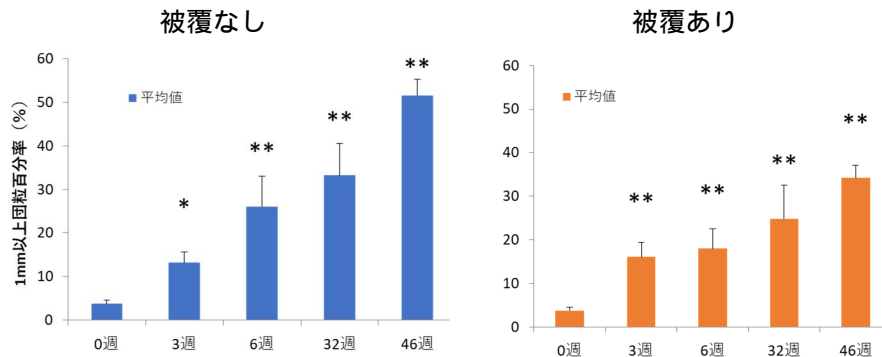


図4 培養に伴う団粒百分率の変化

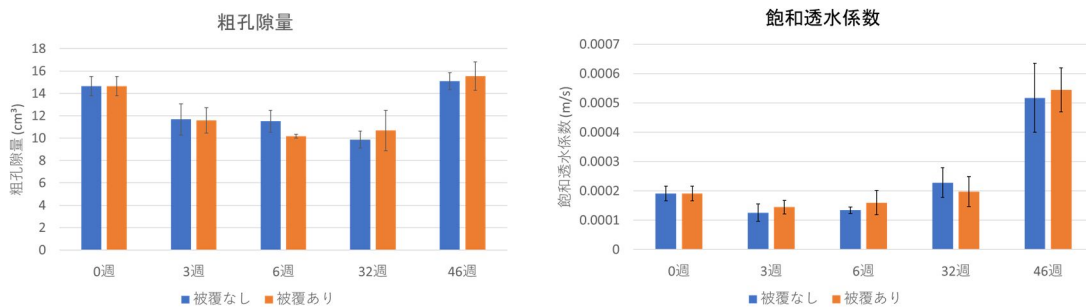


図5 培養に伴う粗孔隙率の変化

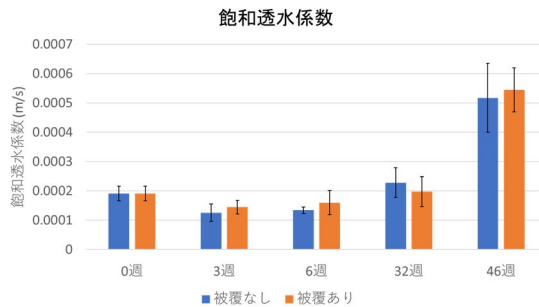


図6 培養に伴う透水性の変化

(4) 総合考察

室内培養実験の結果から、常に湿潤状態が保たれるような条件下では、団粒の再形成が認められたものの、孔隙量には大きな変化が認められなかった。これまでに行ってきた室内培養試験では、適度の乾燥と湿潤を繰り返す培養条件下で耐水性団粒の形成と孔隙量の増加が認められたことから、適度の乾燥・湿潤が物理性の回復に重要であることが明らかとなった。

野外培養実験の結果、培養実験Iでは培養4週間で、培養実験IIでは培養3週間で耐水性団粒の形成が認められた。このことから、野外条件下においても比較的短期間で団粒が再形成することが明らかとなった。従来は、団粒の形成には長い時間が必要であるという考え方が一般的で、破壊された団粒の再形成に関しても同様の認識があったと考えられる。しかし本研究の結果は、このような従来の考え方を覆すものであり、今後、土壌再生の手法を検討するうえで貴重な知見となると考える。

一方で、野外培養実験Iでは、団粒の再形成が進んだにもかかわらず粗孔隙率や透水係数が低い値を示し、その原因として雨滴衝撃やスレーキングの影響が考えられた。この結果から、野外での培養実験では雨滴衝撃や強度の乾燥の影響を考慮する必要があると考えられた。そこで、野外培養実験IIにおいては、野外に設置する培養試料に対し、被覆あり（樹脂ネット3枚）・被覆なし（樹脂ネット1枚）の条件を設定した。その結果、両条件とも団粒の再形成が認められ、とくに被覆なしの条件で顕著であった。また、団粒の再形成に伴って透水性も向上した。団粒発達程度と透水性との関係は指数関数式で近似され、団粒発達が透水性の向上に大きく影響していることが明らかとなった（図7）。しかし、被覆なし、被覆ありの両条件間では、団粒発達と透水性との関係性は大きく異なり、被覆ありの条件での団粒発達と透水性の関係性を考慮すると、被覆なしの条件では、より透水性が高くなることが推察された（図7）。このことから、被覆なしの条件での土壌物理性の向上は、団粒の再形成に相応していないと判断され、雨滴衝撃などがその阻害要因となっていることが考えられた。

このように、野外培養実験I, IIの結果からは、団粒再生に伴う物理性の向上には、林地表面の被覆が大きく影響することが考えられた。従来から、森林土壌の保全には下層植生やA₀層などの林床物による被覆が重要であることが指摘されている（塚本, 1998・三浦, 2012）。本研究の結果からも、団粒の再生過程における土壌表面の被覆の重要性が示されており、土壌保全を考えるうえでの貴重な定量的知見が得られたと考える。

以上をまとめると、本研究課題によって、野外条件下においても団粒の再形成が数週間という比較的短期間で進むことが明らかになった。これは団粒の形成・回復には長期間を要するのではないかと従来の考えかたを覆す、重要な知見であると考えられる。さらに、野外条件下での

団粒の再形成には土壌表面の被覆による保護が重要であることが明らかとなった。従来から、下層植生や A₀ 層などの土壌保全効果が指摘されていたが、本研究課題では、被覆による保全効果が定量的に示された。

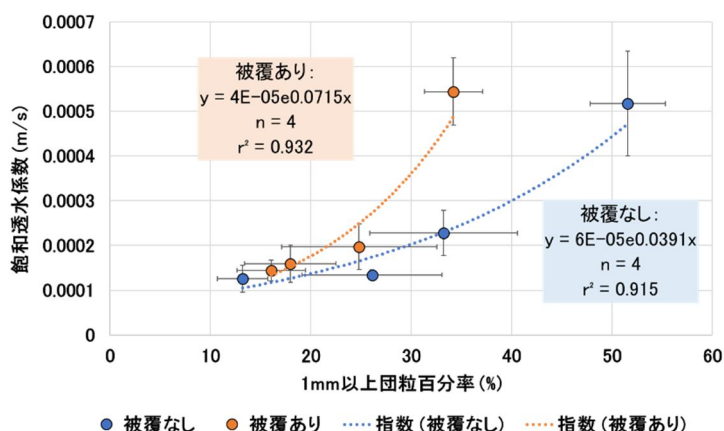


図7 団粒発達と透水性との関係

今後は、本研究課題で得られた知見を発展させ、攪乱により団粒が破壊された状態の土壌が回復する過程において、土壌深層部での水分状態・水分動態がどのように変化するのが明らかにしていきたい。森林土壌は森林の水源涵養機能の本質とされ(中野, 1988), マクロポア(粗孔隙)に富む森林土壌が森林斜面での水分動態に大きく影響することが指摘されている(谷, 2018)。このような森林土壌の働きに対して、より本質を担うのが団粒であり、その団粒を通して森林の水源涵養機能について根源的な考察を行いたい。

引用文献

- ・三浦 覚, 森のバランス 林地における土壌侵食, 49-63, 東海大学出版会, 2012 年
- ・中野 秀章, 二一世紀に向けての水保全と森林機能の活用, 81 pp, 信州大学農学部森林科学科, 1988 年
- ・小野 裕, ヒノキ林皆伐後の土壌の物理性変化, 日本森林学会誌, 87, 36-44, 2005 年
- ・小野 裕 奥村啓一郎 金棒千佳 攪乱を受けた団粒の再形成過程における土壌物理性の変化 第 130 回日本森林学会大会学術講演集 2019 年
- ・佐藤 弘和・津田 高明・倉本 恵生・飯田 滋生・橋本 徹, トドマツ人工林間伐時の車両走行により締め固められた集材路における土壌貫入抵抗の経年回復, 日本森林学会誌, 100, 110-115, 2018 年
- ・谷 誠, 森林と災害 水循環に及ぼす森林の影響, 27-77, 共立出版, 2018 年
- ・塚本良則, 森林・水・土の保全, pp138, 朝倉書店, 1998 年
- ・吉村 綾・小野 裕・北原 曜, ニホンジカの採食と踏み荒らしが高標高域の土壌侵食へ与える影響, 中部森林研究, 58, 203-206, 2010 年

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 宇津木祐夏 小野 裕 |
| 2. 発表標題 地表面の被覆状態が森林土壌団粒の再生に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 第133回日本森林学会大会学術講演集 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 小野 裕 |
| 2. 発表標題 土壌水分条件が団粒再形成過程に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 第131回日本森林学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------|
| 1. 発表者名 宇津木祐夏 小野 裕 |
| 2. 発表標題 攪乱を受けた土壌団粒の野外再生過程 |
| 3. 学会等名 第10回中部森林学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 宇津木祐夏 小野 裕 |
| 2. 発表標題 攪乱を受けた土壌団粒の野外条件下での再生過程 |
| 3. 学会等名 第132回日本森林学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 小野 裕 奥村啓一郎 金棒千佳 |
| 2. 発表標題 土壌水分条件が団粒再形成過程に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 日本森林学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔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 |
|---------|---------|
|---------|---------|