

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15879

研究課題名（和文）割り箸・ティーバッグ大規模分解実験と機械学習の併用による有機物分解速度の広域推定

研究課題名（英文）Large-scale prediction of organic matter decomposition potential using machine learning and field decomposition data of tea-bag and chotsticks

研究代表者

森 大喜 (Mori, Taiki)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：90749095

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：ランダムフォレスト法によるティーバッグ分解速度予測モデルを作成するとともに、リター分解の標準法であるティーバッグ法の分解速度予測精度を大きく向上させる修正法を提案し、気候変動の土壌有機物分解に対する影響評価の堅牢性向上に貢献した。加えて、ティーバッグ法について水による流亡が分解速度に及ぼす影響について基礎データを集積するとともに、ティーバッグの分解速度に対する土壌水分の影響が非線形であることを明らかにした。また、ティーバッグ分解は養分添加よりもむしろ炭素添加によって促進されることを圃場施肥実験から明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ランダムフォレスト法によるティーバッグ分解速度予測モデルを作成したところ、平均気温、降水量、日射量、相対湿度が上昇するほど、また、標高、傾斜、Topographic Position Indexが低下するほどティーバッグの分解が速くなるという従来の知見と調和的な結果が得られ、機械学習によるリター分解速度予測マップ作成が十分可能であることが明らかになった。これは炭素排出量の算定方法改善に貢献する。

研究成果の概要（英文）：A prediction model for tea bag decomposition rate was established using the random forest method. Additionally, a modification was proposed to improve the prediction accuracy of the tea bag index (TBI) approach, which is a standard method for assessing litter decomposition. These contributions help to improve the robustness of the impact assessment of soil organic matter decomposition under climate change. Furthermore, we accumulated basic data on the effect of soil water on the decomposition rate of tea bags, revealing that the effect of soil moisture on tea bag decomposition rate is nonlinear. We also demonstrated through field fertilization experiments that carbon addition accelerates tea bag decomposition more than nutrient addition.

研究分野：生態学

キーワード：有機物分解 気候変動 機械学習 ティーバッグ法

1. 研究開始当初の背景

森林生態系の炭素循環において、落葉落枝等の堆積有機物の分解は最も重要な構成要素のひとつであるが、その分解速度の広域推定については十分に行われてこなかった。世界中で集められたリター分解データを統合した研究例は多数存在するが(例えば Cornwell et al. 2008 Ecol Lett 11:1065-1071 など) 個々の点としてのデータを統合したものに留まっており、そのデータを空間的に拡張したものはほとんど見当たらない。これは、リター分解速度のデータを得るために多くの時間を消費する事、実験用の均質なリターを大量に準備するのが困難である事、従来の線形モデルでは複雑な環境因子の特定とリター分解速度の予測が困難である事等が理由である。これらの課題を解決するためには、均質なリター(標準リター)を用いてリター分解速度データを大量に取得するとともに、非線形な予測モデルを開発する必要がある。

2. 研究の目的

【当初の目的】

本研究では、リター分解速度データの大量取得を可能にした Keuskamp ら(2013)のティーバッグ法と近年発達している機械学習を併用することによって、これまでの課題を克服し、リター分解速度を高精度に広域推定することを試みる。さらに、割りばしを用いた新たな木材分解速度測定手法を開発し、木材分解速度についても同様の広域推定を実現する。

【新目的】

本研究課題は、新型コロナウイルス感染症の拡大時期と研究実施期間が重なったため、当初計画していた広範囲にわたる大規模な野外調査が困難となった。そのため、本来の計画を変更し、室内実験や圃場実験で行うことが可能なティーバッグ法の手法検討(以下新目的)と機械学習モデルが完成した際にその妥当性を検証するための基礎情報取得(以下新目的)を新たな目的として加え、当初の目的は限られたデータセットを用いて予備的な解析のみを行った(以下新目的)。計画変更後の目的は以下の4点である。

【新目的 : ティーバッグのメッシュサイズ変更の影響を検証】

ティーバッグ法は、市販のティーバッグ2種類(リプトン社の緑茶とルイボス茶)を標準物質として土壌に埋設し、90日後の重量残存率から有機物分解速度を評価できるように設計されているが、近年この「標準ティーバッグ」のメッシュサイズが変更されてしまった。そのため、メッシュサイズ変更がティーバッグ法に及ぼす影響について検討する。

【新目的 : ティーバッグ法の予測精度検証】

土壌中の有機物は時間の経過とともに重量が減少し、重量がほぼ変化しない値に収束していく曲線(分解曲線)を描くが、ティーバッグ法はこの分解曲線をたった1時点のデータから推定できる画期的な方法として開発された。しかしながら、本手法によって求めた分解曲線の精度を検証した研究は皆無である。新目的 では、ティーバッグ法の精度を検証する。

【新目的 : ティーバッグ分解速度に及ぼす水分、気温、および土壌養分の影響を評価】

機械学習モデルが完成した際、その妥当性を検証するための基礎情報として、ティーバッグ分解速度に及ぼす水分、気温、および土壌養分の影響評価を行う。

【新目的 : 既存データを用いたティーバッグ分解速度予測モデルの開発と割り箸法の検討】

公開データを用いて当初計画していた機械学習モデルの試作を行うとともに、割り箸法に最適な標準分解期間を提案する。

3. 研究の方法

【方法 : ティーバッグのメッシュサイズ変更の影響を検証】

リプトン社によってメッシュサイズが変更される前後のティーバッグについて、その分解速度を比較する。

【方法 : ティーバッグ法の精度検証】

異なる土壌・環境条件で培養実験を行い、実際のティーバッグ重量減少データを時系列で取得し、ティーバッグ法によって求めた分解曲線と比較する。さらに、時系列データに指数モデルおよび漸近線モデルをフィッティングし、ティーバッグ法と比較する。

【方法 : ティーバッグ分解に及ぼす水分、気温、および土壌養分の影響を評価】

実験室内において、土壌水分および気温を実験的に変化させた培養実験を行う。また、肥沃度の異なる2つの圃場において養分添加実験を行い、土壌の肥沃度と養分(NPK肥料)および炭素(グルタチオン)添加がルイボスティー分解率に及ぼす影響を明らかにする。

【方法 : 既存データを用いたティーバッグ分解速度予測モデルの開発と割り箸法の検討】
 公開されている既存データ(ティーバッグ分解速度データ、気象データ、地形データ)とランダムフォレスト法を用いて機械学習モデルを作成する。北海道と京都、熊本においてスギとトドマツの割り箸を用いた分解試験を行い、標準分解試験に最適な期間を提案する。

4. 研究成果

【成果 : ティーバッグのメッシュタイプ変更の影響は小さかった】

リターバッグのメッシュサイズは分解速度に大きく影響することが知られているが、緑茶の分解速度はメッシュサイズの違いによる影響を受けなかった。また、ルイボス茶の分解速度は、細かいメッシュサイズで大きくなったものの、その影響は非常に小さかった。

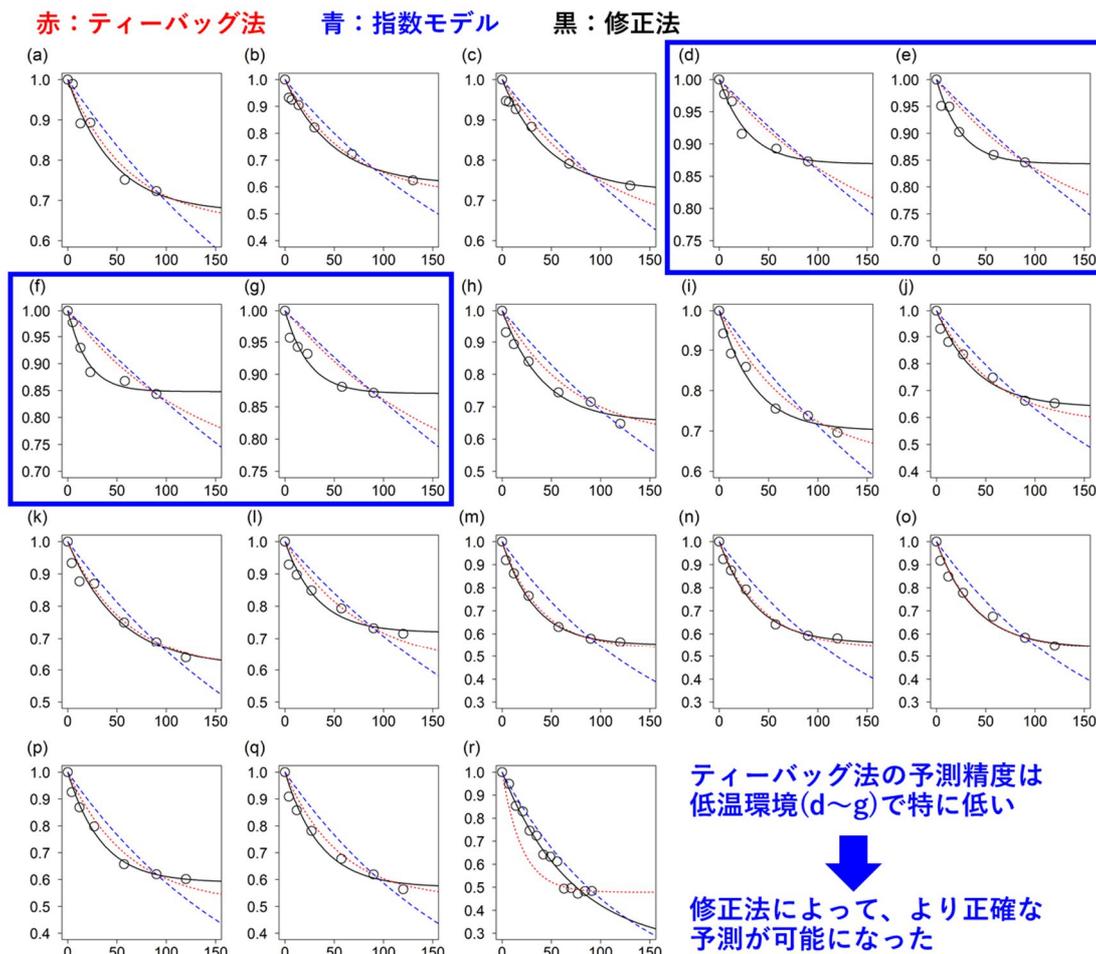


図1. ティーバッグ法、指数モデル、および修正法で決定したティーバッグ分解曲線の比較

【成果 : ティーバッグ法の推定精度の低さを明らかにし、修正法を提案】

ティーバッグ法で求めたリター分解曲線と時系列データへの指数モデルおよび漸近線モデルをフィッティングして求めた曲線を比較したところ、漸近線モデルの予測精度は、ティーバッグ法および指数モデル法と比較して高かった。漸近線モデルはティーバッグ分解データをよく再現できたが、ティーバッグ法で求めた分解曲線は、特に低温環境においてデータから大きく乖離した(図1)。これは、ティーバッグ法の計算過程で用いられる安定化係数にバイアスが掛かっていたためであることが明らかになった。そのため、時系列データに漸近線モデルをフィッティングする方法をティーバッグ法の修正法として提案した。

さらに、ティーバッグ法が分解速度の相对比较のために有益であるかを明らかにするため、ティーバッグ法で求めた分解速度定数と修正法によって求めた分解速度定数を18の異なる環境下で比較した。両者の間に正の相関があればティーバッグ法による分解速度の相对比较は可能ということになるが、実際には正の相関は確認されなかった(図2)。これらの結果から、ティーバッグを用いてリター分解速度予測を正確に行うためには、漸近線モデルと時系列データを組み合わせた修正法が必須であることが明らかになった。本研究で提案した修正法は、ティーバッグ分解データを5点取得すれば十分に実行可能であり、ティーバッグ法の簡便性を大きくは損なわなかった。

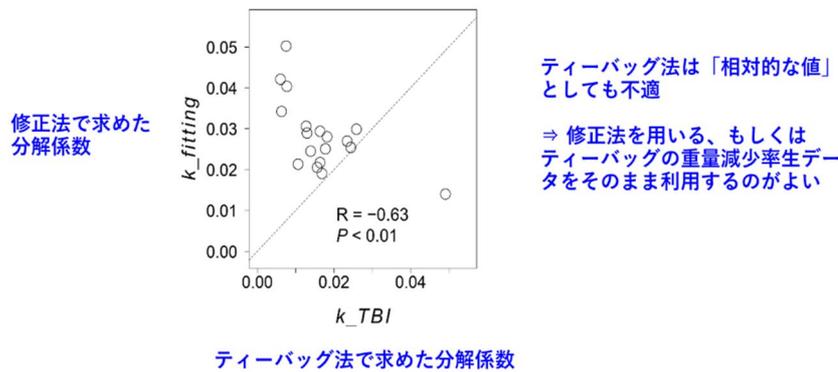


図2. ティーバッグ法と修正法で求めた分解速度定数の比較

【成果 : ティーバッグ分解に対する水分および土壌養分の影響に関する新たな知見】
 ティーバッグ分解速度は気温が上昇するにしたがって増加した。これは、従来の知見通りであった。土壌含水量が大きくなるにつれ、ティーバッグ分解速度も大きくなったが、土壌含水量が最大のものでは分解の抑制が観察された。現在ティーバッグ分解速度を予測するモデルは、水分が増加すれば分解速度は増加を続けるものになっているが、本知見によってこのモデルの構造を改良できると期待される。また、富栄養土壌でルイボスティーの分解が速かった一方、養分添加による分解促進は観察されなかった。炭素添加によって分解が促進されたことから(図3)、富栄養土壌での速い分解は、植物の成長促進を通じた土壌への炭素添加量増加に起因すると推察された。本成果は、養分添加によってリター分解速度が促進されるとする従来の見解に新たな解釈を提供した。すなわち、従来の研究結果は養分添加による植物成長とそれに伴う炭素添加量増加を介した間接的な影響である可能性を提示した。

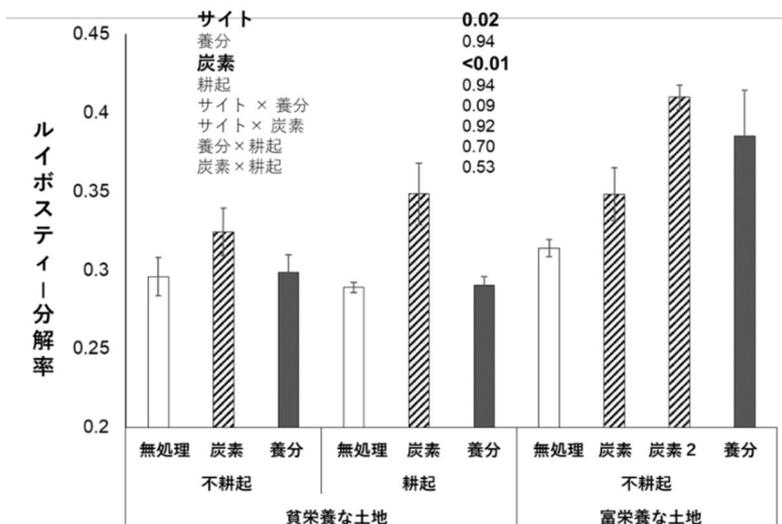


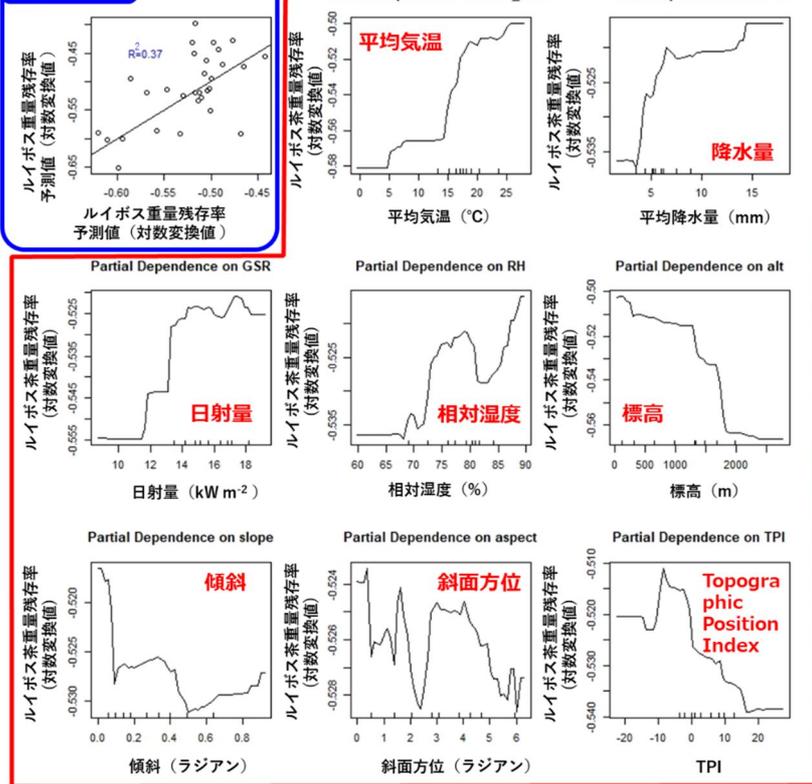
図3. 土壌の肥沃度と養分 (NPK 肥料) および炭素 (グルタチオン) 添加がルイボスティー分解率に及ぼす影響。

【成果 : ランダムフォレストモデルを作成】
 ティーバッグ分解データを解析してランダムフォレスト法によるティーバッグ分解速度予測モデルを作成した。ティーバッグ法で算出される分解速度の指標はその計算過程にバイアスが掛かっていることが明らかになったため(成果)、モデルの目的変数にはティーバッグ重量残存率データを用いた。ルイボス茶の分解速度データを用いて作成したモデルの予測精度を検証したところ、R2は0.37であった。モデル作成のためのサンプル数が62点であった点を考慮すると、今後データが蓄積された場合、ランダムフォレストによる推定は十分可能であると考えられた。説明変数の相対重要度を解析したところ、平均気温が最も重要な変数として選択された。さらに、部分従属プロットを作成し、説明変数と分解速度の関係を解析したところ、平均気温、降水量、日射量、相対湿度が上昇するほど、ティーバッグの分解が速くなることが明らかになった。一方、標高、傾斜、Topographic Position Indexについては、これらの値が低下するほどティーバッグの分解が速くなることが明らかになった。また、北海道、京都、熊本で行った野外分解試験の結果から、割り箸の最適な設置期間を1年間と推定し、割り箸を使用した木材分解速度評価法を提案した。

予測モデルの精度検証

70%のデータを用いてモデルを作成し、残りの30%で精度を検証したものの (hold-out法)

予測モデル



部分従属プロット

説明変数と分解速度の関係をプロットすることで決定要因を解析

図3. ランダムフォレストによるルイボス茶分解予測モデルと部分従属プロット。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Mori Taiki	4. 巻 2
2. 論文標題 Tea Bags - Standard Materials for Testing Impacts of Nitrogen Addition on Litter Decomposition in Aquatic Ecosystems?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nitrogen	6. 最初と最後の頁 259 ~ 267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nitrogen2020017	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 Mori Taiki, Nakamura Ryosuke, Aoyagi Ryota	4. 巻 37
2. 論文標題 Risk of misinterpreting the Tea Bag Index: Field observations and a random simulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 381-389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12304	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mori Taiki, Aoyagi Ryota, Taga Hiroki, Sakai Yoshimi	4. 巻 2
2. 論文標題 Effects of Water Content and Mesh Size on Tea Bag Decomposition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecologies	6. 最初と最後の頁 175 ~ 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ecologies2010010	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 Mori Taiki	4. 巻 3
2. 論文標題 Can nonwoven tea bags determine the Tea Bag Index?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecologies	6. 最初と最後の頁 175-182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ecologies3020014	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 Mori Taiki	4. 巻 141
2. 論文標題 Validation of the Tea Bag Index as a standard approach for assessing organic matter decomposition: a laboratory incubation experiment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecological Indicators	6. 最初と最後の頁 109077
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecolind.2022.109077	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 Mori Taiki	4. 巻 3
2. 論文標題 Is the Tea Bag Index (TBI) Useful for Comparing Decomposition Rates among Soils?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecologies	6. 最初と最後の頁 521-529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ecologies3040038	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 Mori Taiki, Hashimoto Toru, Sakai Yoshimi	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Innovative use of tea bags to investigate the interactive effect of nutrient status and climatic factors on litter decomposition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13416979.2023.2208784	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 森大喜
2. 発表標題 ティーバッグ法による有機物分解速度推定は妥当なのか？
3. 学会等名 日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森大喜、青柳亮太、多賀洋輝、酒井佳美
2. 発表標題 ティーバッグの分解にメッシュサイズと土壌含水率が与える影響
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森大喜、酒井佳美、鳥山淳平、橋本徹、伊藤江利子、梅村光俊、石塚成宏、橋本昌司、山下尚之、青柳亮太、多賀洋輝
2. 発表標題 ランダムフォレストとティーバッグを用いた気候変動による有機物分解速度の変化予測
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
---------	---------