

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11628

研究課題名(和文) 北極域の原野・森林火災の変化の地球温暖化へのフィードバック

研究課題名(英文) A Feedback of arctic wildfire change on global warming

研究代表者

串田 圭司 (KUSHIDA, Keiji)

日本大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：90291236

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：過去70年の原野・森林火災による、米国アラスカ州の森林の樹齢ごとの存在確率分布の変化を見積もった。この変化から、植物および土壌有機物それぞれの蓄積量の変化、アルベド変化、放射強制力の変化を求めた。また、温暖化シナリオ下で2100年までの放射強制力の変化を見積もった。アルベドは太陽光の地表面での反射率を示し、放射強制力は温室効果ガス放出とアルベド変化を合わせた地球温暖化を進める力を示す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

北極域は寒冷であるため、植物の落葉落枝や過去に生育した植物体の大量の有機物が分解されずに残っている。地球温暖化による温度上昇は、こうした土壌有機物の分解を促進する。さらに、北極域では、温暖化に伴い原野・森林火災が増加している。原野・森林火災が起こると、燃焼時にCO₂を放出する他に、土壌中に蓄えられている有機炭素の一部が燃焼する。温暖化が進むと、土壌有機物の分解が進むとともに原野・森林火災が増加し、さらなる温暖化をもたらす。どの程度原野・森林火災が増加し、土壌有機物が分解されてCO₂として大気中に放出されるかは、温暖化予測と温暖化緩和策、温暖化適応策に大きく関わるが、未だ十分解明されていない。

研究成果の概要(英文)：Fire induced change of the forest age distribution of Alaska was estimated in the last 70 years. From this change, the changes of the volume amounts of the aboveground biomass and the soil organic matters, the albedo, and the radiative forcing were evaluated. The radiative forcing during the 21st century was also estimated under the global warming scenarios. The albedo means the reflectance of the solar beam in the ground, and the radiative forcing means the force of the global warming as the total of greenhouse gas releases and the change of the albedo.

研究分野：地球環境学

キーワード：原野・森林火災 地球温暖化 北方森林 北極域

1. 研究開始当初の背景

近年の地球温暖化による北半球高緯度帯の北極域の陸域生態系へ及ぼす影響が、危惧されている。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(IPCC, 2013)および第6次報告書(Arias et al., 2021)によれば、温暖化による2100年までの気温の上昇は北極域の陸域において最も大きくなり、北極域の陸域の温度上昇値は全球平均のほぼ2倍に相当することが予測されている。北極域には地下の広範囲に永久凍土が存在するが、この永久凍土の中には大量の炭素が蓄積されている。永久凍土中の有機炭素の量は、全球の陸域生態系の地下部に存在する有機炭素蓄積量のおよそ半分である1700GtCに匹敵する(Tarnocai et al., 2009)。これは現在の大気中CO₂に相当する炭素量のおよそ2倍に相当する。北極域は寒冷であるため、土壌有機物分解が抑えられる。このため、現在の植物の落葉落枝や過去に生育した植物体の大量の有機炭素が分解されずに残っている。現在この地域では、1年に生態系が正味で吸収する量の2000~6000倍の有機炭素が土壌中に存在する(McGuire et al., 2009)。

地球温暖化による温度上昇と原野・森林火災の増加は、こうした土壌有機物の分解を促進する。土壌有機物分解は、一般に、温度に対して指数関数的に増加する。さらに、北極域では、温暖化に伴い原野・森林火災が増加している。温暖化に伴い、極端な乾燥が起こりやすくなり、また、落雷が起こりやすくなる。落雷は北米の原野・森林火災の発火要因の90%以上を占める。原野・森林火災が起こると、土壌中に蓄えられている有機炭素の一部が燃焼してCO₂として大気へ放出される。温暖化が進むと、土壌有機物分解が進み、さらなる温暖化をもたらすという、正のフィードバック効果を示す。北極域は、地球上で最も急速に温暖化が進んでいる。どの程度の北極圏の土壌有機物が分解されてCO₂として大気中に放出されるかは、温暖化予測と温暖化緩和策、温暖化適応策に大きく関わるが、未だ十分解明されていない。

土壌有機物量の変化とCO₂の土壌から大気への放出を考えると、土壌有機物分解量、植生から土壌への有機物の流入を意味するリターフォール量(落葉落枝、根の枯死量)のほかに、原野・森林火災の頻度、強度を考慮しなければならない。生態系全体の炭素収支には、土壌から大気へのCO₂の放出に加えて、植物から大気とのCO₂収支を考えなければならない。植物と大気とのCO₂収支は植物の地上部の現存量変化で表すことができる。地上部の現存量変化には、地球温暖化による植物成長の変化に加えて、原野・森林火災の頻度、強度が大きく関わる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、過去70年の原野・森林火災による、米国アラスカ州の森林の樹齢ごとの存在確率分布の変化を見積もる。この変化から、植物および土壌有機物それぞれの蓄積量の変化、アルベド変化、放射強制力の変化を求める。また、温暖化シナリオ下で2100年までの放射強制力の変化を見積もる。

3. 研究の方法

燃焼地図としては、2000年から2017年までのThe Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)衛星画像の燃焼プロダクトMCD64および1950年以降のアラスカ州の森林火災地図データベースを用いる。植生区分地図と合わせて、地域ごと、植生区分ごと、樹齢ごとの燃焼確率を求める。MCD64の地上分解能は500mである。植生区分地図は2001年と2011年のNational Land Cover Database (NLCD2001およびNLCD2011)を用いる。これらは、落葉樹、常緑樹、混交林、灌木、草地、コケ類、湿地などの植生区分がされている。衛星画像と火災地図データを合わせると、1950年以降の各年に火災を受けた個々の土地に関して、それまでの最後の火災からの経過年数が分かる。燃焼する確率の変化から、地域ごと植生区分ごとに、樹齢ごとの存在確率分布がどのように変化しているか見積もる。土壌有機物分解モデルおよびリターフォール量とその変化の地理的分布から、樹齢ごとの地上部炭素蓄積量及び土壌中有機炭素蓄積量を求める。土壌有機物分解モデルは、バイオームごとに、深度ごとの温度、土層ごとの土壌有機物含量、土層ごとの土壌有機物分解速度、土層ごとの熱伝導率などのパラメータから成る。地上部現存量とリターフォール量の地理的分布は衛星画像MODISの解析により見積もる。この際にKushida et al. (2015)およびKushida et al. (2004)による衛星データと現存量、リターフォール量との関係式を用いる。

既往の研究による火災時の土壌有機物の焼失量、火災後のアルベド変化とを合わせて、1950年から2017年までの原野・森林火災の増加が放射強制力に及ぼす影響を評価する。これまでの観測結果を基にして、土壌有機物の火災時の焼失量と火災後の蓄積速度を見積もる。観測地の燃焼状況や現地観測と広域の植生や火災や気象の地図情報との対応を見るために、0.5~1mの地

上解像度を持つ World View-3 (WV-3) 超高解像度衛星画像を用いる。放射強制力は、CO₂ 放出による温室効果のほかに、火災時の温室効果ガスであるメタンや対流圏オゾンの放出や火災後のアルベド変化も合わせたもの(Randersson et al., 2006)とする。

また、気象要素と燃焼確率との対応関係を解析し、気象要素と原野・森林火災の発生、植物成長、土壌有機物分解量それぞれとの関係を考慮して、温暖化シナリオ下での 2100 年までの土壌・植生から大気への二酸化炭素の放出量と放射強制力の変化を見積もる。植物成長に関してはバイオームごとの気候-植物成長モデル(Euskirchen et al., 2009)を用いる。

4 . 研究成果

アラスカの 1950 年から 2017 年までの原野・森林火災の増加が、土壌有機物および植物の地上部蓄積量と土壌有機物蓄積量とアルベドと放射強制力に及ぼす影響を評価した。燃焼地図と植生区分地図と合わせて、地域ごと、植生区分ごと、樹齢ごとの燃焼確率を求めた。燃焼する確率から、地域ごと植生区分ごとに、樹齢ごとの存在確率分布がどのように変化しているか見積もった。土壌有機物分解モデル、地上部現存量、リターフォール量とその変化の地理的分布から、樹齢ごとに、植物の地上部炭素蓄積量及び土壌有機炭素蓄積量を求めた。若齢林では断熱層の働きをする土壌有機層が薄く、夏季の高温が土壌中深くに伝わりやすい。このため、若齢林は老齢林に比べて、年間を通じての土壌有機物分解量が大きかった。樹齢だけでなく植生種による土壌有機物の焼失量、炭素蓄積量の違いも加味した。火災時の土壌有機物の焼失量、火災後の土壌有機炭素蓄積量と火災時の地上部の焼失量、火災後のアルベド変化とを合わせて、1950 年から 2017 年までの原野・森林火災の増加が、植物の地上部炭素蓄積量、土壌有機物量、アルベド、放射強制力それぞれの変化に及ぼす影響を評価した。

これらの知見から、温暖化シナリオ下で 2100 年までの地上部現存量、リターフォール量の変化と火災による燃焼量の変化を見積もった。また、気象要素と原野・森林火災の発生、土壌有機物分解量との関係を考慮して、温暖化シナリオ下での 2100 年までの土壌・植生から大気への二酸化炭素の放出量と放射強制力の変化を見積もった。

引用文献

IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trevisan, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Deroczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S. Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld, 2021: Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002.

Tarnocai, C., Canadell, J. G., Schuur, E. A., Kuhry, P., Mazhitova, G., & Zimov, S. (2009). Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. *Global biogeochemical cycles*, 23(2).

McGuire, A. D., Anderson, L. G., Christensen, T. R., Dallimore, S., Guo, L., Hayes, D. J., Heimann, M., MacDonald, R. W. & Roulet, N. (2009) Sensitivity of the carbon cycle in the

Arctic to climate change. *Ecological Monographs*, 79(4), 523-555.

Kushida, K., Hobara, S., Tsuyuzaki, S., Kim, Y., Watanabe, M., Setiawan, Y., Harada, K., Shaver, G. R. & Fukuda, M. (2015) Spectral indices for remote sensing of phytomass, deciduous shrubs, and productivity in Alaskan Arctic tundra. *International Journal of Remote Sensing*, 36(17), 4344-4362.

Kushida, K., Kim, Y., Tanaka, N., & Fukuda, M. (2004) Remote sensing of net ecosystem productivity based on component spectrum and soil respiration observation in a boreal forest, interior Alaska. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D6) doi: 10.1029/2003JD003858.

Randerson, J. T., Liu, H., Flanner, M. G., Chambers, S. D., Jin, Y., Hess, P. G., Pfister, G., Mack, M. C., Treseder, K. K., Welp, L. R., Chapin, F. S., Harden, J. W., Goulden, M. L., Lyons, E. , Neff, J. C., Schuur, E. A. G. & Zender, C. S. (2006). The impact of boreal forest fire on climate warming. *Science*, 314(5802), 1130-1132.

Euskirchen, E. S., McGuire, A. D., Chapin III, F. S., Yi, S., & Thompson, C. C. (2009) Changes in vegetation in northern Alaska under scenarios of climate change, 2003–2100: implications for climate feedbacks. *Ecological applications*, 19(4), 1022-1043.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 申田圭司	4. 巻 561
2. 論文標題 森林火災・原野火災・山火事の地球環境への影響を考える	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 グリーン・エージ	6. 最初と最後の頁 2-3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 申田圭司	4. 巻 1654
2. 論文標題 森林火災とアマゾン	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ブラジル特報	6. 最初と最後の頁 5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 申田圭司	4. 巻 447
2. 論文標題 森林火災・劣化の実態 世界の現状は	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 エネルギーレビュー	6. 最初と最後の頁 19-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 申田圭司, 小池涼乃, 高橋竜太
2. 発表標題 インドネシアとオーストラリアにおける植生による原野・森林火災の頻度の相違
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2018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
---------	---------