

CO₂ 吸収源としての湿原再生を目指したリター分解と泥炭形成に関する研究

露崎史朗 (北海道大学大学院地球環境科学研究院)

e-mail: tsuyu@ees.hokudai.ac.jp

要旨: 温暖化によりリター分解・泥炭形成速度が変化し、炭素蓄積源であった湿原は炭素放出源に変化すると予測される。そこで、泥炭湿原においてリター分解速度を、泥炭表面温度を操作し測定した。同時にリター分解過程を知るために NC 含量、窒素・炭素同位体比を測定した。その結果、現在のリター分解速度は夏季まででは 15%程度であった。分解速度は、リターの質により異なり、特に窒素分が重要であった。また、温度が分解速度に与える影響はリターの質により異なった。これらのことから、温度操作によるリター分解・泥炭形成速度の変化には、温度に加えて、植生により決まるリターの質と泥炭中の窒素分布が重要であり、それらの監視が必要となる。

目的

北海道を含む冷温帯域には、ミズゴケが優占する高層湿原が広範に分布し、地下部には膨大な泥炭が蓄積している。しかし、これらの湿原面積は大きく減少している。高層湿原は、有機物(泥炭)層が発達した膨大な「炭素吸収源」であり(図 1)、炭素蓄積量は、湿原面積が現在でも、大気中の炭素量に相当するものと見積もられている。したがって、地球温暖化により泥炭分解が加速され CO₂ が放出されれば、湿原は炭素蓄積源から放出源に転じ、正のフィードバックにより地球温暖化が加速されることが予測されている。



図 1. 泥炭採掘跡地に堆積した泥炭の断面(2020 年 10 月 12 日)。図 2. 調査地概観。手前が調査地の 1972 年泥炭採掘跡地(2021 年 5 月 29 日)。奥は利尻山。

泥炭形成の鍵の一つは、泥炭の元となるリター(落葉落枝)の分解速度である。リター分解速度を決定する要因が特定できれば、泥炭蓄積速度を見積もれ、温暖化の泥炭分解に対する影響を評価できる。北海道北部にある日本最大の高層湿原であるサロベツ湿原(図 2)では、1970-2003 年に 150 ha の泥炭が採掘され、生態系復元は急務である。しかし、泥炭採掘跡地は自然状態で放置されれば、採掘から 50 年を経過しても元には戻らない(Nishimura & Tsuyuzaki 2014)。さらに、高層湿原は、特殊な環境から多くの絶滅危惧種が存在し、それらの保全も図る必要がある(江川他 2017)。サロベツ泥炭採掘跡地では、絶滅危惧種である

ナガバノモウセンゴケ個体群が発見されている(Hoyo & Tsuyuzaki 2013)。したがって、湿原は、生物多様性を介した生態系サービスも促進し、学術教育上極めて意義の高い生態系である(Keddy 2010)。

ミズゴケ湿原再生には、ミズゴケ定着可能な環境を探索的に探り当てる必要があるが、その中でも定量化の必要な指標としてミズゴケ定着に必要なリター層と泥炭層の発達があげられる。そこで、リター分解速度を、環境(特に光と温度)を操作した上で測定し、リター分解速度を決めるのに重要な環境要因を抽出する。あわせて、炭素・窒素同位体分析により、環境変化に対するリター分解経路の応答を推定する。

調査地と方法

ヌマガヤ優占植生(MJ)とミズゴケ優占植生(SP)においてリター分解実験を行った。調査域は、これらの2植生が広範にみられる1972年採掘跡地とした。MJ、SPの各々3箇所において1m×1mの方形区を3個ずつ設置し、それぞれの方形区にリターバッグ(10cm×9cm)を合計で230個敷設した(図3)。これらのリターバッグを、2021年6月、8月、10月に毎回72個ずつ回収し、分解速度およびリター特性の変化を測定した。

2020年10月に調査地内から、2020年中中に成長した部分のヌマガヤおよびミズゴケのリターを採取した。リターは、直ちに実験室に持ち帰り乾燥機を用いて80°Cで3日以上乾燥させた。これらのリターを、白色および黒色の寒冷紗に、1.4gずつ詰め、同年11月に調査地に敷設した。黒色・白色の寒冷紗の遮光率は、それぞれ51%、22%であり、メッシュサイズはともに1mmである。寒冷紗による光と温度への影響を、寒冷紗下に光・温度ロガー(HOBO UA-002-XX, Onset, Massachusetts, USA)を設置して測定した。裸地、ミカヅキグサ草地、MJ、SPにTDRロガー(EC5-ECH₂O/em5b data logger, Meter, Washington, USA)を深さ5cmに設置し、土壌水分の季節変動を観測した(図4)。裸地・ミカヅキグサ草地では深さ5cmおよび10cm、MJ、SPでは深さ2cm、5cm、10cmに熱電対式温度計(RT-1, Meter)を設置し温度を測定中である。いずれも、測定間隔は1時間とし、2021年10月末に回収予定である。また、各植生に水位管を設置し、水位の季節変動を測定した。



図3. 調査区内リターバッグ設置直後の状況(2020年11月15日)。白色と黒色のリターバッグを市松模様配置した。図4. 設置された環境測定測器(2021年5月29日)。左奥に見えるのが水位管、その手前が温度・土壌水分記録用ロガーを保管したプラスチック容器である。手前のシリンジにて泥炭水を採取中。

光学スキャナを用い、地下部における根系と泥炭の分布を、季節ごとに撮影し測定した。

撮影画像は、フラットスキャナー(GT-S630, EPSON, Suwa, Japan)を用い A4(深さ 210 mm × 幅 297 mm)で解像度 600 dpi で行った。

リターの安定同位体比を含めた物理化学特性を測定し、分解速度の変化に伴う分解経路の変化を推定した(解析中)。これらのデータをもとに、リター分解規定要因を探索的に発見する。解析は、全て R (ver 4.1.0)により行った(R Core Team 2021)。

結果

2021年の水位は、5月末には1 cm から 6 cm と高く、ほぼ表層付近に地下水面が分布していた。水位は、夏にかけて低下し、MJでは8月末には30 cm から 40 cm、SPでは10 cm から 20 cm となった。泥炭水の pH は、調査期間を通じて酸性よりであった。

秋季における寒冷紗の効果を検証する必要があるが、6月から8月にかけての寒冷紗による温度操作の効果は、MJでは白色寒冷紗(以降、白色)では上昇傾向が、黒色寒冷紗(黒色)では低下傾向が認められた。SPでは、白色による温度変化は明瞭ではなかったが、黒色では6月から8月にかけて低減傾向にあった。ただし、白色・黒色いずれにおいても、温度変動(較差)は、小さくなっており寒冷紗により温度変動は小さくなっていた。

表 1. 寒冷紗による地表面温度操作(°C)の効果(2021年10月末まで測定)。較差は、その月に記録された最高気温と最低気温の差で表した。

植生	寒冷紗	6月		7月		8月	
		平均	較差	平均	較差	平均	較差
ヌマガヤ	なし	20.0	47.8	26.0	37.8	21.7	39.2
	白色	20.3	35.1	26.0	37.6	22.1	35.1
	黒色	18.6	45.2	23.4	29.0	20.6	28.8
ミズゴケ	なし	18.8	47.5	24.1	31.4	20.1	35.8
	白色	17.7	27.3	24.0	21.0	21.1	26.0
	黒色	16.5	17.0	22.3	14.1	20.4	19.7

使用したリターの設置前、すなわちリター未分解の状態では、ヌマガヤで炭素含量(%C)が 47.4%、窒素含量(%N)が 0.826%、炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}$)が-25.6‰、窒素同位体比($\delta^{15}\text{N}$)が-4.90‰であった。一方、ミズゴケでは%Cが 44.5%、%Nが 0.758%、 $\delta^{13}\text{C}$ が-27.3‰、 $\delta^{15}\text{N}$ が-2.85‰であった。したがって、%Nはヌマガヤの方がミズゴケより高かった。また、 $\delta^{13}\text{C}$ はいずれの種も C_3 植物であることを示していた。現時点では参考値であるが、MJにおけるリター生産量は 100-1500 g/m²/yr、中央値は 550 g/m²/yrであった。野外から回収されたリターの窒素・炭素含量および同位体比は、測定中である。

表 2. ヌマガヤ草地(MJ)、ミズゴケ植生(SP)に設置した、白色および黒色の寒冷紗により作成したリターバッグ内のリター分解量(%). 各々、9反復の平均値と標準偏差を示す。10月25日回収サンプルは測定中。

リター	ヌマガヤ				ミズゴケ			
	MJ		SP		MJ		SP	
寒冷紗	白	黒	白	黒	白	黒	白	黒
6月下旬	88.4 ± 1.7	88.1 ± 2.1	90.8 ± 0.6	89.4 ± 0.7	87.4 ± 2.6	84.7 ± 1.3	83.9 ± 2.0	82.6 ± 1.6
8月中旬	85.8 ± 2.0	84.2 ± 2.2	84.0 ± 2.1	83.7 ± 1.4	84.8 ± 2.9	82.9 ± 3.3	79.6 ± 4.0	77.4 ± 2.5

リター分解は、8月中旬までではミズゴケリターの方がヌマガヤリターより早かった(表2)。10月回収サンプルは未測定であるが、概ね同様の傾向を辿ると思われる。ヌマガヤリター分解速度は、植生間で違いはなかったが、ミズゴケリターの分解速度はMJよりもSPで早く、リターの質により植生のリター分解への影響が異なることが示された。さらに、いずれのリターでも、白色の方が、黒色よりも分解は遅かった。なお、2021年8月に当年生リターの厚さを測ったところ、ヌマガヤでは3.5 cm程度であり、リターバッグによらずともリター分解は遅かった。

積雪前および融雪後に撮影されたスキャナ画像解析から、積雪期間中あるいは低温期には根系分布は大きく変化していないが、その後、急激な成長がみられた(図5/6)。また、夏季には、水位変動に呼応し根系、泥炭が移動することがあることも判明した。



図 5/6/7. スキャナ箱を用いた地下部観測例。ミズゴケが優占する箇所を設置したスキャナ箱の同一面を、2020年11月15日(図5, 紺色で主根系を示す)、2021年5月29日(図6, 黄色)、同年8月12日(図7, 水色)に撮影したもの。冬季間には、根系分布は大きな変化を示していないが、夏季間の成長は著しい。2021年10月末まで継続観測を予定している。

考察

リターは、泥炭や土壌中に供給される有機物の主体であり、湿原では泥炭の形成と発達に大きく影響する。まず、リターの質、ここではヌマガヤとミズゴケの違い、がリター分解速度に関与していることが示された。この2種のリターの違いは、主に窒素含量であり、一般に窒素分の多いリターは分解が遅い(Taylor et al. 1989)。このことは、植生遷移にともなって供給されるリターの質が変化するため(Otaki & Tsuyuzaki 2020)、リター分解速度が変化することを示唆している。

サロベツにおけるリター分解速度は、夏季までで15%であった。リター分解が、現在は遅い原因としては、表面温度の低さが第一にあげられる。リター分解は、主に光分解・物理的破碎・微生物分解によりなされる。しかし、MJ、SPともに地上植生による遮光と遮蔽が強いことから、光分解と物理的破碎が強く作用する可能性は低い。微生物分解は、主に担子菌を始めとする多くのリター分解菌によりなされるため(大園 2018)、温度依存性が高い。特に、水位が高い泥炭採掘跡地では、地下水の低い温度の影響を受け微生物活性が下がり分解速度が低かったものと思われる。加えて、リター分解速度は、分解前のリターの窒素含量が重要である(Parton et al. 2007)。一方、湿原では、温暖化によりリター・泥炭分解が加速すると窒素濃度が上昇し、微生物相を含めた生物相が変化することが予測されている(Hautier et al. 2009)。したがって、泥炭採掘跡地では、遷移が進みミズゴケが侵入するとリター分解速度が、温暖化との相乗効果で加速される可能性がある。これらのことから、高層泥炭湿原復元には、遷移過程における優占種の変化に伴うリター分解速度を注視する必要性が示唆された(露崎 2017)。

引用文献：江川知花 他. 2017. 保全生態学研究 22: 187-197. **Parton W, et al.** 2007. *Science* 324: 636-638. **Hoyo Y, Tsuyuzaki S.** 2013. *American Journal of Botany* 100: 817-823. **Keddy PA.** 2010. *Wetland ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. **Nishimura A, Tsuyuzaki S.** 2014. *Wetlands* 34: 117-127. **Osono T.** 2018. *日本生態学会誌* 68: 149-168. **Otaki M, Tsuyuzaki S.** 2020. *Acta Oecologica* 101: article 103485. **Parton W, et al.** 2007. *Science* 315: 361-364. **R Core Team.** 2021. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. **Taylor BR, et al.** 1989. *Ecology* 70: 97-104. 露崎史朗. 2017. 工学生のための基礎生態学. 理工図書. 43-53, 99-102