

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21580335

研究課題名（和文） 草原生態系の炭素動態長期モニタリング
-炭素シンク／ソースメカニズムの解明-研究課題名（英文） Monitoring of carbon dynamics in a grassland ecosystem
- Analysis of carbon sink or source mechanisms for carbon cycle -

研究代表者

関川 清広（SEKIKAWA SEIKOH）

玉川大学・農学部・教授

研究者番号：40226642

研究成果の概要（和文）：葉面積指数（LAI），土壤呼吸（Rs）速度，環境要因（光，地温等），土壤微生物バイオマス（生菌数）・組成を調査した。LAIに基づき，成長開始期（5月下旬），急成長期（6月から7月），最大期（8月上～中旬），衰退期（9月以降）に分けられた。5 cm深地温によるRsは $3.1\sim 3.8 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ，土壤従属栄養生物呼吸は $2\sim 2.5 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と推定された。土壤微生物の生菌数と組成は，両者ともに試料間差はあるが季節変化は小さかった。

研究成果の概要（英文）：We investigated LAI, soil respiration rate (Rs), environmental factors, biomass and flora of soil microbes in the grassland. The canopy growth was distinguished into four periods, i. e. beginning of growth (late May), exponential growth (from June to July), maximum LAI (early to mid August), and senescence (September to October). Annual rates were estimated as $3.1 - 3.8 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ for Rs, and $2 - 2.5 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ for soil heterotrophic respiration. Biomass and flora of soil microbes were heterogeneous spatially (among soil samples), but not seasonally (among sampling periods).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：畜産学・獣医学 ・ 畜産学・草地学

キーワード：環境，生態学，土壤，草原生態系，炭素固定能

1. 研究開始当初の背景

生態系の炭素貯留は，炭素循環プロセス，主に炭素（CO₂）吸収と放出の動態（炭素動態）によって，左右される。ポスト京都に鑑み，非森林生態系の炭素貯留能の解明が重要な研究課題となりつつある。草原生態系では，森林と異なり，主要な炭素プールは土壤（植物体地下部を含む）である。その炭素循環プロセスとして，地上部の生産（光合成による

CO₂吸収），土壤における炭素動態（植物のリターなど有機物供給，主に土壤呼吸によるCO₂放出）が重要となる。しかし，草原における炭素動態の研究は，日本では非常に少ない現状にある。Yazakiら（2004）は，本研究と同じ草原生態系を対象に炭素貯留機能を2年間にわたって調査し，年によって炭素貯留が変動することを認めたが，その変動メカニズムは未解明である。このような年々変動を理解

するためには、草原生態系における長期モニタリングが欠かせない。

2. 研究の目的

本研究は、草原生態系を対象に、地上部の生産（光合成によるCO₂吸収）、および、土壤炭素動態（土壤生物の呼吸によるCO₂放出）を長期間モニタリングし、土壤炭素貯留に対する環境要因の作用メカニズムを明らかにすることである。本研究の重要な研究アプローチは、(1) 植物体地上部の成長を自動モニタリング（画像および光要因からの解析）、(2) 土壤呼吸の自動連続測定、(3) 土壤環境要因（地温、土壤水分、土壤CO₂）の連続測定、の3点である。これらを他の気象要因（降雨や風など）とともに、相互比較・評価することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 研究対象：筑波大学菅平高原実験センター（長野県上田市、標高約 1,300 m）の半自然ススキ草原を対象に研究を行った。本草原は毎年1回（10月中旬）の刈り取りによって維持されてきた（地上部は持ち出され、農業利用される）。優占種はススキ、ワラビ、ヨモギ等である。

(2) 環境・気象要因：T熱電対（素線径 0.3mm）を用いて地温、TDR土壤水分計を用いて土壤水分、および光量子センサーを用いて光合成有効光量子束密度（以下PAR）をそれぞれ測定した。当初は土壤CO₂濃度もモニタリングする予定であったが、以前から使用してきたCO₂濃度計が相次いで故障し、測定の継続を断念した。また、菅平高原実験センターが観測している気象データを利用させて頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

(3) 葉群成長のモニタリング：5月または6月から、草原地上部の刈り取り（10月中旬）までの間、PENによる自動撮像型魚眼デジタルカメラ（ADFC）※を用いて、草原の状態を撮影記録した。この記録は2005年から継続しており、地表から上向きに葉群を撮影する全天カメラ（レンズ高は地上 0.2m）、地上 3m 高から下向きに葉群を撮影する地表カメラと上向きに空を撮影する天空カメラの3台を使用している。カメラとレンズには NIKON COOLPIX4500 および全周魚眼レンズ FC-E8 を使い、これらを防水ケース（電源ユニットと PC インターフェース内蔵、早坂理工）に格納し、ノート PC（WindowsXP のタスク機能）によって1日に5回撮影を行った。全天カメラでの各撮影は、5段階露出（適正露出、4段階のマイナス補正）とした（カメラのトラブル時を除く）。全天カメラ設置位置（上記の 0.2m 高）および天空カメラ設置位置（3m 高）に光量子センサー（PAR-01(L), Prede）を設置し、前者を葉群下の PAR、後者を葉群上の

PARとして、それぞれ記録した（30分積算値）。さらに PAR/NIR 比法による LAI 推定のため、全天カメラ設置位置と葉群上 2m 高にそれぞれ、PAR および近赤外光（NIR）測定用光量子センサー（MIJ-13VIS および MIJ-13NIR、日本環境計測）を設置した。得られた全天カメラ画像から曇天時のものを選択し、モノクロ2値化した後、HemiView (Ver. 2.1, Delta-T Devices) を用いて LAI を算出した。これらの LAI を検証するため、月に1回程度、プラントキャノピーアナライザー（LAI-2000, Li-Cor）により LAI の測定を行った。

※Phenological Eyes Network,

<http://pen.agbi.tsukuba.ac.jp>

(4) 土壤呼吸（以下Rs）測定：土壤からのCO₂放出量を明らかにするため、無雪期間中、自動開閉式チャンバー（センサ製4基、以下AOC）を用いた通気式赤外線分析法によって、Rsを測定した。また、チャンバー内地温（5cm 深、以下Ts05）を同時に測定した。当初使用を予定していたRs測定制御システムが故障し復旧困難であったため、新たに制御システムを自作し、CO₂濃度の測定にLI-820 (Li-Cor) を使い、2011年と2012年に測定を行った。本測定では、4基のチャンバーを順次、16.5分間チャンバー蓋を閉じてチャンバー入口にリファレンスガスを通気し、チャンバー出口からのサンプルガスとリファレンスガスの濃度差から、Rsを算出し、Ts05との回帰を求め、年間Rsの推定を行った。

(5) 土壤微生物のバイオマス（生菌数）と種組成：草原土壤からの放出されるCO₂の発生源として考えられる土壤微生物の季節変動を、蛍光顕微鏡法および分子生物学的手法により調査した。草原の表面土壤（0~5 cm）を、2010年2月7日に3地点、2010年5月9日に3地点、2010年8月7日に3地点採取した。2月7日の3試料は、物置小屋付近の土壤を、深さ90cmの積雪を除去して採取した。5月9日の3試料はモグラ塚付近の土壤を採取し、8月7日の3試料はそれぞれススキ近く、ススキの株元、ワラビの株元の土壤を採取した。

① 蛍光顕微鏡による菌数の計測：土壤 1 g 中の生菌数を計測するために、土壤微生物を以下の方法により染色した。ホールスライドガラスに解凍した土壤試料を載せ、リン酸緩衝液（pH 7.0）に溶解した核酸染色蛍光色素 LIVE/DEAD Baclight Viability Kits (Invitrogen) を 10 μL 滴下し染色した。10分後、蛍光顕微鏡 (Axiovert 135M, Zeiss) を用いて（対物レンズ 40 倍）、1試料につき 10 視野の像をデジタルカメラ (EOS Kiss X3, Canon) で撮影した。緑色の蛍光を発する微生物細胞（生菌）を PC 上で計数し、Tsuji et al. (1995) の方法に従い土壤 1 mL 当たりの生菌数を求めた。また、各土壤試料 1 mL を

105°Cで3時間乾燥し、乾燥前後の重量変化から土壌の含水率を求めた。得られた含水率を用いて、上記の1 mL当たりの生菌数から乾燥土壌1 g当たりの生菌数を推定した。
 ②微生物組成の解析：各土壌試料から、Fast DNA SPIN kit for Soil (MP Biomedicals)を用いてDNAを抽出し、F984GC / R1378プライマー(表1)を用いてPCRを行い16S rDNAを増幅した。増幅したDNAを、変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法(DGGE法, Muzer et al. 1993)によって、以下のように解析した。アクリルアミドゲル濃度8%, 変性剤濃度20~60%のゲルを作成しDCode System (Bio-Rad)を用いて200Vで240分間電気泳動を行った。泳動後のゲルはSYBR GOLD (Invitrogen)で染色した後Gel Doc XR (Bio-Rad)によりバンドパターンの観察を行った。

4. 研究成果

(1) 環境・気象要因：地温の変化と地上カメラの画像から、冬期の積雪は年により、3月下旬から4月中旬にかけて消雪した。消雪日と日平均地温(Ts05)が5°C以上となった日はそれぞれ、2009年は4月6日(DOY96)と同9日(DOY99), 2010年は4月2日(DOY92)と同10日(DOY100), 2011年は4月15日(DOY105)と同18日(DOY108), 2012年は4月19日(DOY110)と同21日(DOY112)であり、消雪とその後の地温上昇は、2009年と2010年に比べ2011年と2012年は約10日ほど遅かった。日平均地温が5°Cを越えた日を起算日とした積算気象要因の季節変化を図1に示す(本研究期間以前の2005年からのデータを併せて示す)。2011年と2012年の低い積算Ts05の推移は、積算日射が少なかったことに起因すると考えられる。一方、積算降水量は、2011年はDOY150~180の間に300mmを越えて育成期間初期の降水量が多かったのに対し、2012年はその半分程度と降水量が少なく、2009年と2010年は中間的であった。

(2) 葉群成長：全天写真法によるLAIから(図2)、葉群は5月下旬から6月上旬に成長開始し、6月から7月にかけて盛んに成長し、8月上旬に最大に達し、9月以降に衰退した(葉の黄変・褐変、萎凋・脱落)。6月から7月にかけてのLAIの著しい増加程度(葉群の成長速度)は年によって異なり、図の傾きから、低; 2005年, 中; 2006, 2007, 2008, 高; 2010, 2011, 2012の各年となり(欠測が多い2009年を除く)、葉群の成長開始期から急成長期が年々早まっているように見られる。この要因は具体的には不明であるが、全天画像処理上の技術的問題、気候変化または草原植物の生理的要因による変動等が考えられる。さらに解析してその要因を明らかにし、純一次生産と生態系純生産の推定を行う予定である。

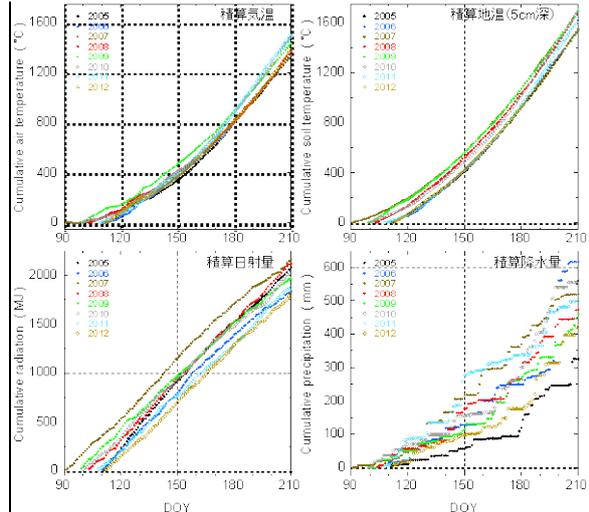


図1. 調査地の積算気象要因の季節変化。
 (菅平高原実験センターのご好意による)
 起算日は日平均地温が5°Cを越えた日

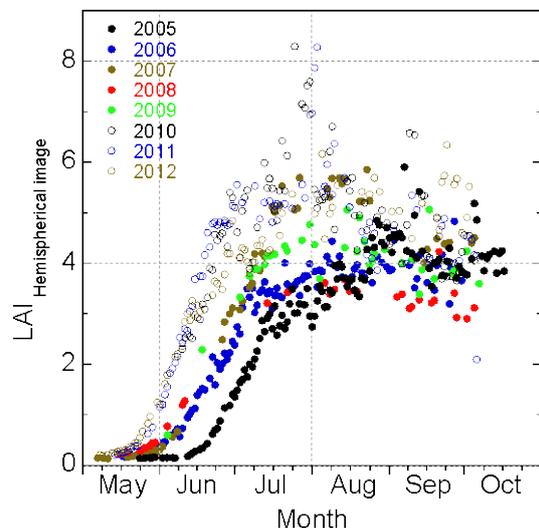


図2. 全天写真法によるLAIの季節変化。

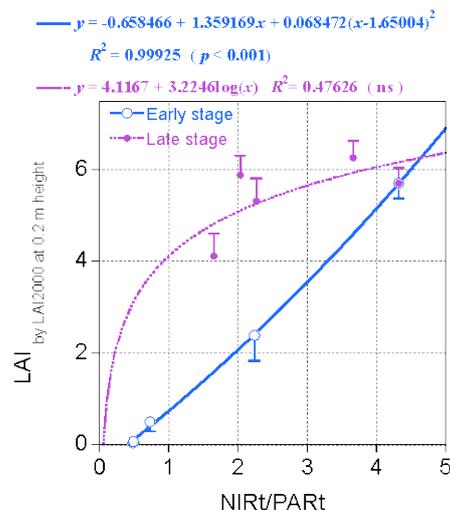


図3. 葉群下のNIR/PARとLAIの関係。
 (3) 土壌呼吸(Rs)および土壌従属栄養生

物呼吸（以下Rh）：新制御システムを用いたRsの連続測定結果として、季節変化を図4に、5cm深の地温および土壌水分とRsの関係を図5および図6にそれぞれ示す。4チャンバー間のばらつきは多少異なり、測定期間を通じてCh2は高く、Ch4は低く、Ch1は中間的であったが著しく変動することがあり、Ch3は測定開始当初は高めであったが夏期ごろには中間的であった。一般的に報告されているように、地温とRsには正の相関が、土壌水分とRsには負の相関が認められたが、土壌水分についてはCh3において他のチャンバーとは異なる結果となった。これは土壌水分測定にトラブルがあり、欠測があったことによると考えられる。このため、5cm深地温のみを用い、図5の指数回帰に基づいて年間呼吸速度を推定したところ、年によって、年間Rsは3.1~3.8 kg CO₂ m² y⁻¹、土壌従属栄養生物呼吸（Rh）は2.0~2.5 kg CO₂ m² y⁻¹となった（表1）。

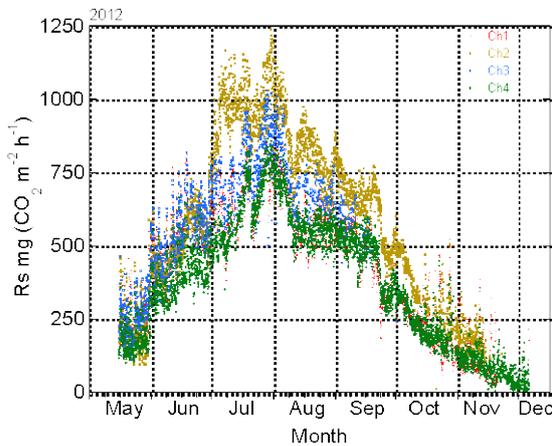


図4. 自動開閉チャンバーと通気法により測定されたRsの季節変化。

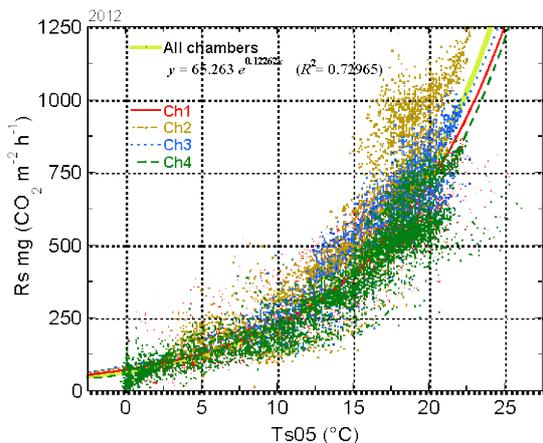


図5. 5cm深地温とRs（図4）の関係。

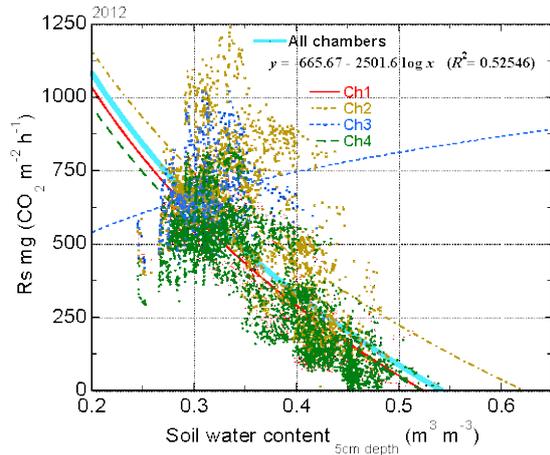


図6. 5cm深土壌水分とRs（図4）の関係。

表1. 5cm深地温に基づく推定Rsと推定Rh.

年	5cm 地温 (°C)*				年間呼吸速度 (g CO ₂ m ² y ⁻¹)	
	平均	最高	最低	レンジ	Rs	Rh**
2005	10.1	22.6	1.0	21.6	3249	2090
2006	10.1	23.1	1.2	21.9	3236	2094
2007	10.3	22.8	0.9	21.9	3369	2138
2008	10.2	22.2	0.8	21.4	3316	2134
2009	10.1	22.2	0.7	21.6	3140	2020
2010	10.8	23.9	0.6	23.3	3796	2452
2011	10.2	22.5	0.8	21.7	3290	2137
2012	10.0	22.4	1.0	21.5	3274	2104
平均	10.2	---	---	21.9	3334	2146

* 菅平高原実験センターによる

** Rs : Rh = 1 : 0.643を仮定

(4) 土壌微生物の生菌数と種組成：顕微鏡観察の結果、蛍光染色された微生物は主として細菌類であり（図7）、乾燥土壌1g当たり108~109細胞程度の生菌数が観察された（表2）。2月7日の3試料は、数10cm以内の近接した場所であるが、約5倍の差が見られるなど局所的な場所による菌数の差が大きく、季節による明瞭な変化は見られなかった。また、DGGE法による解析結果においても各試料のバンドパターンは同様の傾向を示していたことから、細菌群集の組成に、大きな季節変化は見られないことが確認された。本研究の試料採取地では、秋期に草原地上部は刈り取られ大部分が持ち出されるが、一部残された地上部リターおよび地下の枯死部によって有機物が土壌に供給されると考えられる。本研究の結果からは、微生物の分布は、有機物量の影響を大きく受けており、気温の上昇が必ずしも微生物数の増加に繋がっていないことが推測された。また、植物には多様な種が見られるものの、主としてススキとワラビが優占していることから、微生物相の均一性はこれら植物種の優占度の高さによって影響を受けている可能性がある。

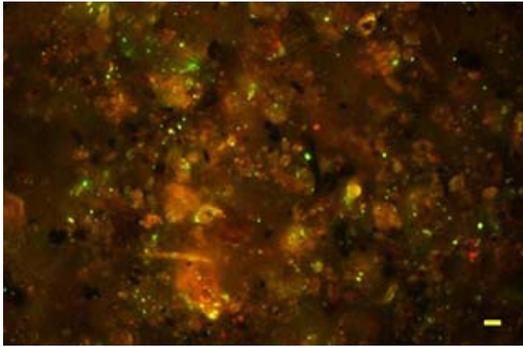


図 7. 蛍光染色された微生物の顕微鏡像。生菌が緑色に蛍光染色されている。

表 2. 蛍光染色された微生物生菌数.

No.	試料名	採取日	生菌数±標準偏差 ($\times 10^8$ cells g^{-1} dry soil)
1	菅平 a	2010. 2. 7.	2.4 ± 1.2
2	菅平 b	2010. 2. 7.	9.9 ± 3.1
3	菅平 c	2010. 2. 7.	1.7 ± 0.5
4	モグラ塚 GL1	2010. 5. 9.	2.3 ± 0.8
5	モグラ塚 GL2	2010. 5. 9.	0.99 ± 0.63
6	モグラ塚 GL3	2010. 5. 9.	4.1 ± 2.4
7	ススキ近く	2010. 8. 7.	4.5 ± 1.2
8	ススキ株元	2010. 8. 7.	3.9 ± 1.4
9	ワラビ株元	2010. 8. 7.	6.7 ± 2.6

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. 小泉嘉一, 水谷篤, 三井綾子, 吉村義隆, 福井学. 中規模浄化槽と都市下水処理場の各処理段階における PCR-DGGE 法を用いた細菌群集の比較解析. 玉川大学学術研究所紀要 18: 17-24. 2012. (査読あり) DOIなし
2. Segawa, T., N. Takeuchi, A. Rivera, A. Yamada, Y. Yoshimura, G. Barcaza, K. Shinbori, H. i. Motoyama, S. Kohshima, and K. Ushida. Distribution of antibiotic resistance genes in glacier environments. *Environmental Microbiology Reports* 5: 127-134. 2012. (査読あり) DOI : 10.1111/1758-2229.12011
3. Uetake, J., Y. Yoshimura, N. Nagatsuka, and H. Kanda. Isolation of oligotrophic yeasts from supra-glacial environments of different altitude on the Gulkana Glacier (Alaska). *FEMS Microbiology Ecology* 82: 279-286. 2012. (査読あり) DOI : 10.1111/j.1574-6941.2012.01323.x
4. Segawa, T., Y. Yoshimura, K. Watanabe, H. Kanda, S. Kohshima. Community structure of culturable bacteria on surface of Gulkana Glacier, Alaska. *Polar*

Science 5: 41-51. 2011. (査読あり) DOI: 10.1016/j.polar.2010.12.002

5. 関川清広. 他大学とのかかわり, 玉川大学と里山の自然環境: 里山の自然環境と研究・教育. 法政大学環境報告 2010-2011 (グリーン・ユニバーシティをめざして), p. 45. 2011. (査読なし) 法政大学環境報告書 URL (<http://www.hosei.ac.jp/kankyokenshou/communications/hakusho/>)
 6. 大久保英敏, 吉村義隆, 山本庸介, 小林和彦, 黒田潔. 尿素-水混合液を利用した潜熱蓄冷剤の低温物性. 玉川大学学術研究所紀要 16: 67-74. 2010. (査読あり) DOIなし
 7. 渡辺京子, 渡邊博之, 関川清広. 異なる光条件下でのトマト植物と炭疽病菌の相互作用 - モデル植物 マイクロトムと *Colletotrichum gloeosporioides* による実験系の確立-. 玉川大学学術研究所紀要 15:150. 2009. (査読あり) DOIなし
 8. Ashida, N., S. Ishii, S. Hayano, K. Tago, T. Tsuji, Y. Yoshimura, S. Otsuka, and K. Senoo. Isolation of functional single cells from environments using a micromanipulator: application to study denitrifying bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85: 1211-1217. 2009. (査読あり) DOI: 10.1007/s00253-009-2330-z
- [学会発表] (計 20 件)
1. 関川清広. 半自然ススキ草原における炭素動態モニタリング. 第 60 回日本生態学会大会. 2013 年 3 月 7 日. グランシップ (静岡コンベンションアーツセンター), 静岡.
 2. 小川麻里, 伊藤洋貴, 吉村義隆, 倉持卓司, 宮川厚夫, 鈴木忠, 三田肇, 伊村智. 南極スカーレン大池に産する扁平な形をした藻類集合体の内部環境について, 阿寒湖産の藻類集合体 (マリモ) の内部環境との比較から考える. 第 34 回極域生物シンポジウム. 2012 年 11 月 27 日. 国立極地研究所, 東京.
 3. 関川清広, 小宮澤奈未子. 光環境 (NIR/PAR 比) に基づくススキ草原の葉面積指数 (LAI) 推定. 日本植物学会第 76 回大会. 2012 年 9 月 15 日. 兵庫県立大学, 兵庫.
 4. Yoshimura Y., V. Shcherbakova, E. Rivkina, Y. Taguchi, T. Segawa, and D. Gilichinsky. Methanogenic archaea diversity and distribution in the Arctic permafrost samples of different age. 39th COSPAR Scientific Assembly 2012. 2012 年 7 月 19 日. Mysore, India.
 5. 関川清広, 小宮澤奈未子. ススキ草原の光環境 (PAR, NIR) と葉群フェノロジー. 第 59 回日本生態学会大会. 2012 年 3 月 19

- 日. 龍谷大学, 大津.
6. 田口幸広, 瀬川高弘, 鈴木悠香, V. Shcherbakova, 吉村義隆. シベリア永久凍土におけるメタン生成菌の群集解析. 第2回極域科学シンポジウム. 2011年11月18日. 国立極地研究所, 東京.
 7. 小川麻里, 原昌史, 吉村義隆 (22番目), 若菜勇 (他 19名). 南極の微生物および有機物環境. 第2回極域科学シンポジウム. 2011年11月18日. 国立極地研究所, 東京.
 8. 関川清広, 小宮澤奈未子. 草原のLAI推定. 第58回日本生態学会大会. 2011年3月10日. 札幌コンベンションセンター (札幌国際会議場), 札幌.
 9. 小川麻里, 原昌史, 吉村義隆 (22番目), 若菜勇 (他 19名). 南極の微生物および有機物環境. 第32回極域生物シンポジウム. 2010年11月30日. 国立極地研究所, 東京.
 10. 関川清広, 小宮澤奈未子, 三上寛了, 奈佐原顕郎. 半自然ススキ草原の葉群動態. 日本植物学会第74回大会. 2010年9月11日. 中部大学, 愛知
 11. Yoshimura, Y., Y. Ichinose, T. Tsuji, M. Ogawa, and Y. Kawasaki. Visualization of soil microorganisms in extreme environments by fluorescent microscopy. The 10th European Workshop on Astrobiology EANA' 10. 2010年9月6日. Pushchino, Russia.
 12. 木村園子ドロテア, 岸本 (莫) 文紅, 大浦典子, 関川清広 (4番目), 米村正一郎 (5番目) (他 5名). 丘陵地帯の森林土壌からのCO₂, CH₄, N₂Oフラックスの空間変動-FM多摩丘陵における夏季 (7月) および落葉季 (12月)の比較. 日本地球惑星科学連合 2010年大会. 2010年5月26日. 幕張メッセ国際会議場, 千葉.
 13. 関川清広, 和泉潤, 中川奈未子, 三上寛了, 奈佐原顕郎. 葉群画像モニタリングによる半自然ススキ草原のLAI動態. 第57回日本生態学会大会. 2010年3月18日. 東京大学, 駒場.
 14. 中川奈未子, 三上寛了, 和泉潤, 関川清広, 奈佐原顕郎. 魚眼デジタルカメラ画像による草原のLAI推定. 第57回日本生態学会大会. 2010年3月18日. 東京大学, 駒場.
 15. 木村園子ドロテア, 岸本 (莫) 文紅, 関川清広, 米村正一郎, 大浦典子, 須藤重人, 早川敦. 都市に隣接する多摩丘陵の森林土壌におけるCO₂, CH₄, N₂Oフラックスの空間変動 1, 異なる 2 時期の空間変動の特徴. 第57回日本生態学会大会. 2010年3月18日. 東京大学, 駒場.
 16. 吉村義隆. 顕微鏡法による極限環境微生物の解析. 日本農芸化学会関東支部 2009年度大会. 2009年10月31日. 玉川大学, 東京.

17. 三田肇, 赤瀬詩, 佐藤明日佳, 小林憲正, 佐藤修司, 長縄一樹, 吉村義隆, 藪田ひかる, 小川麻里. 有機物分析による南極の生態系解析. 日本地球化学会 2009年度年会. 2009年9月16日. 広島大学, 広島.
18. 関川清広, 鈴木あづさ, 岸本 (莫) 文紅, 白戸康人, 米村正一郎. ダイズ単植個体群の土壌呼吸の環境依存性と根呼吸の寄与. 日本植物学会第73回大会. 2009年9月9日. 山形大学小白川キャンパス, 山形
19. Ogawa, M., M. Kishimoto, and Y. Yoshimura (10番目) (他 7名). Antarctic MARIMO as ecosystem - Structure, microorganisms and organic matter in a mass of the algae - . 10th SCAR, International Biology Symposium. 2009年7月28日. Sapporo, Japan.
20. Mita, H., Y. Yoshimura, K. Kobayashi, K. Naganawa, S. Sato, and M. Ogawa. Preliminary studies for distribution and alteration of living microorganisms and organic compounds in the extreme Antarctic environments. 10th SCAR, International Biology Symposium. 2009年7月28日, Sapporo, Japan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関川 清広 (SEKIKAWA SEIKOH)
玉川大学・農学部・教授
研究者番号: 40226642

(2) 研究分担者

吉村 義隆 (YOSHIMURA YOSHITAKA)
玉川大学・農学部・教授
研究者番号: 90384718

(3) 連携研究者

奈佐原 顕郎 (NASAHARA KENLO)
筑波大学・生命環境科学研究科・准教授
研究者番号: 40312813

米村 正一郎 (YONEMURA SEI-ICHIRO)
独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員
研究者番号: 20354128