

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成24年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	野外温暖化実験と衛星—生理生態学統合研究による森林生態系機能の現状診断と変動予測
研究機関・部局・職名	岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授
氏名	村岡裕由

1. 当該年度の研究目的

本課題は森林生態系機能の現状診断と将来変動予測を目的として次の3つのサブテーマから構成されている。[1] 温暖化に対する森林生態系の炭素循環の生理生態学的応答の実験的解明とモデル化, [2] 森林生態系の生理生態学的プロセスの衛星リモートセンシング観測手法の開発, [3] 温暖化影響予測モデルと現状診断評価モデルの広域適用(特に中部山岳域), および森林生態系の脆弱性評価の試み。平成24年度の主な目的は次のとおりである。①樹木温暖化実験区において樹木葉の光合成特性および分光特性を季節を通じて観測して温度環境がこれらの諸特性にもたらす影響を明らかにする, ②これらの野外実験データを解析することによりテーマ2とテーマ3でのリモートセンシング観測手法の検証と炭素循環モデルの検討に着手する, ③土壌温暖化実験を開始して, 温度上昇が土壌炭素動態にもたらす影響の定量的評価を試みる。

2. 研究の実施状況

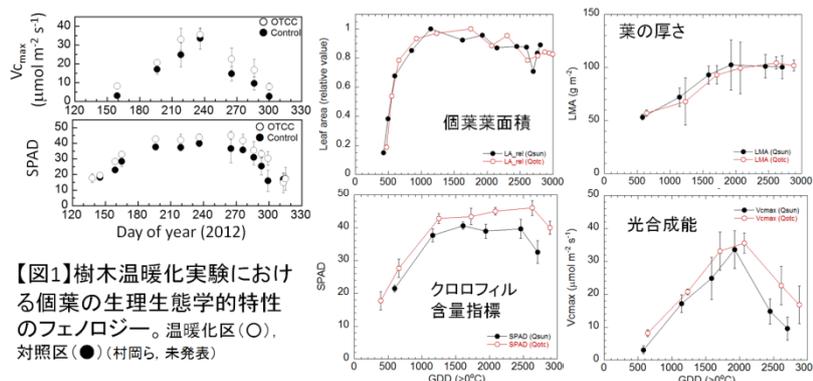
平成24年度の研究実施ならびに進捗状況は下記のとおりである。

【サブテーマ1】

森林生態系の炭素吸収(樹木の光合成)と炭素放出(土壌呼吸)の諸過程に温度上昇がもたらす影響を実験的に検証するために, 主要林冠木のミズナラ(樹高約15m)の葉群の一部(3箇所)に開放型温室を設置し, また, 土壌には電熱線を埋設して(3区), それぞれ加温処理を施した(野外温暖化実験)。

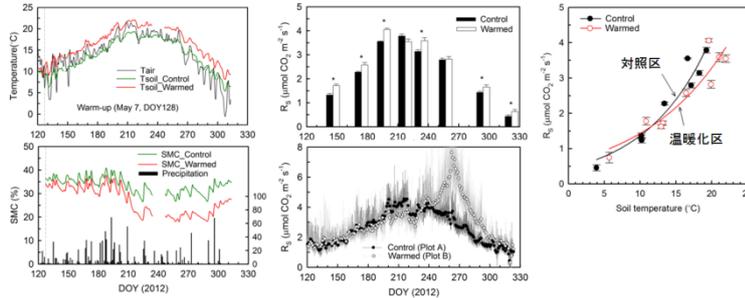
温度上昇(日中の晴天時に約5°C, 日平均気温は約1.5°C)はミズナラの展葉開始を約5日間早め, 黄葉を約5日間遅らせた。この変化に伴い, 春から初夏, 晩夏から秋の光合成能が増加した(図1)。温暖化区と対照区の葉特性(葉面積, 葉密度, クロロフィル含量, 光合成能)の季節変化パターンは積算温度により統一的に説明でき, 葉フェノロジーは気温によりモデル化できることが示された。平成25年度はこれらの再現性を得るための観測を継続しながらモデル化を図る。

土壌温度の上昇により, 春から初夏の土壌呼吸速度は増加したが, 夏以降には対照区と同程



様式19 別紙1

度となった(図2)。土壌呼吸速度の温度反応曲線には温暖化区と対照区で違いが認められ、将来の土壌呼吸量を現在の一般的な観測データから予測すると課題評価を招く可能性があることが示唆された。平成25年度はこれらの観測を継続しながらサブテーマ3のためのサブモデル化を図る。



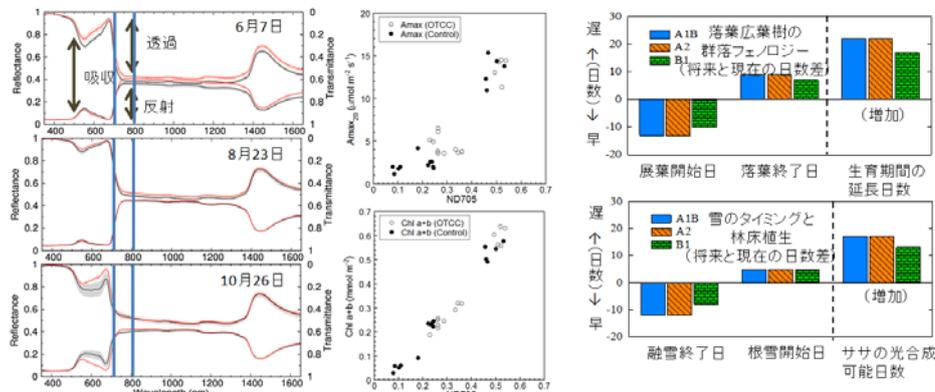
【図2】土壌の温暖化処理が土壌呼吸速度に与える影響。
電熱線埋設により定常的に地温を3℃上昇させ(左図)、土壌呼吸速度を季節を通じて観測し(中図)、温度-土壌呼吸曲線を得た(右図)。

【サブテーマ2】

温暖化が葉群の光合成能にもたらす影響、および森林の光合成生産力の季節性の長期的変動をリモートセンシングによって検出する手法を検証し、さらに将来予測の高精度化に資することを目的としている。

ミズナラ個葉の生理生態学的特性と分光特性を春・夏・秋に同期的に測定した結果、光合成能やクロロフィル量は705nmの反射や吸収強度と季節を通じて一定の関係を持つことが明らかとなった(図3)。これは林冠の光合成生産力と分光植生指数が強い相関を持つことの根拠となる。

高山サイトの林冠の植生指標を分光放射計と自動デジタルカメラにより長期的に観測したデータを用いて、温度環境によって展葉開始/落葉終了を再現する群落フェノロジーモデルを内包した温暖化影響予測モデルを開発した。本モデルを用いて高山サイトを対象に気候モデルの将来予測値を利用した生育期間および炭素収支の将来予測を行った結果、温暖化が林冠の生育期間を延長して光合成量は増えるが、同時に生態系呼吸量が増える可能性を示すことができた(図4)。また、平成23年度までに構築した[衛星指標-森林光合成能]換算手法(Muraoka et al. 2013)を2001年から現在までのMODIS長期データに適用すべく、データアーカイブの構築を進めている。平成25年度は以上の観測やモデルを温暖化実験区での葉群分光特性と対応づけて解析し、葉群機能とその季節性的リモートセンシング指標の検出を行う。

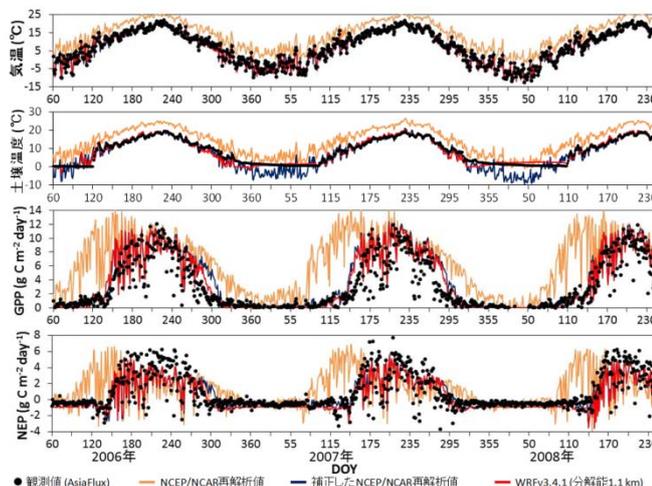


【図3】ミズナラ個葉の分光特性(左)、分光指標と生理特性の季節を通じた関係(右)。温暖化区(—, ○), 対照区(—, ●) (村岡・野田ら, 未発表)

【図4】群落フェノロジーモデルを用いた落葉広葉樹林と林床植生の光合成可能期間の将来予測。(齋藤・村岡ら, 未発表)

【サブテーマ3】

森林生態系の光合成生産力の長期・広域観測と評価、ならびに将来変動予測を行う準備のために、数値気象モデルの空間解像度ならびに計算条件の違いが生態系炭素収支モデル計算にもたらす影響を検証した。空間分解能 2.5° の NCEP/NCAR 再解析値を陸域生態系モデル VISIT の入力に用いると実際よりも温暖な気候条件となるため森林の着葉期間が約 3 ヶ月長く算出される。そのため炭素収支モデルから計算される生態系純生産量 NEP は現地での観測値と整合しなかったが、NCEP/NCAR 再解析値の気温・地温・降水量を補正したデータ、または領域気象モデル WRF による空間分解能 1.1km の計算値を用いた場合には、算出された NEP は現地観測値とよく整合することが明らかとなった(図5)。今後は空間解像度の高い気象モデルにより中部山岳地域の気象値を計算して森林炭素収支の現状診断を行い、衛星観測による生態系機能指標との照合を行うとともに、サブテーマ 1 と 2 のサブモデルを統合して将来の温暖化が炭素収支にもたらす影響の予測を行う。



●観測値 (AsiaFlux) ○NCEP/NCAR再解析値 ▲補正したNCEP/NCAR再解析値 ▼WRFv3.4.1 (分解能1.1 km)
 【図5】気象モデルの空間解像度および計算過程の違いが炭素収支推定値にもたらす影響。(栗林・村岡ら、未発表)

3. 研究発表等

雑誌論文 計13件	(掲載済み一査読有り) 計6件 1. Saitoh T.M., Nagai S., Yoshino J., Muraoka H., Saigusa N., and Tamagawa I. (2012) Functional consequences of differences in canopy phenology for the carbon budgets of two cool-temperate forest types: simulations using the NCAR/LSM model and validation using tower flux and biometric data. Eurasian Journal of Forest Research 15: 19-30 2. Inoue T., Nagai S., Inoe S., Ozaki M., Sakai S., Muraoka H. and Koizumi H. (2012) Seasonal variability of soil respiration in multiple ecosystems under the same physical-geographical environmental conditions in central Japan. Forest Science and Technology 8: 52-60 3. Saitoh T.M., Nagai S., Noda H.M., Muraoka H. and Nasahara K.N. (2012) Examination of the extinction coefficient in the Beer-Lambert law for an accurate estimation of the forest canopy leaf area index. Forest Science and Technology 8:67-76 4. Saitoh T.M., Nagai S., Saigusa N., Kobayashi H., Suzuki R., Nasahara K.N. and Muraoka H. (2012) Assessing the use of camera-based indices for characterizing canopy phenology in relation to gross primary production in a deciduous broad-leaved and an evergreen coniferous forest in Japan. Ecological Informatics doi:10.1016/j.ecoinf2012.05.001. 5. Thanyapraneedkul J., Muramatsu K., Daigo M., Furumi S., Soyama N., Nasahara K.N., Muraoka H., Noda H.M., Nagai S., Maeda T., Mano M. and Mizoguchi Y. (2012) A vegetation index to estimate terrestrial gross primary production capacity for the Global Change Observation Mission-Climate (GCOM-C)/second-generation global imager (SGLI) satellite sensor. Remote Sensing 4: 3689-3720 6. Potitthep S., Nagai S., Nasahara K.N., Muraoka H. and Suzuki R. (2012) Two separate periods of the LAI-VIs relationships using in situ measurements in a deciduous broadleaf forest. Agricultural and Forest Meteorology 169: 148-155 (掲載済み一査読無し) 計1件 7. 村岡裕由・野田響・斎藤琢・永井信・奈佐原顕郎 (2012) 森林生態系の光合成：生理生態学と衛星観測の融合による長期・広域評価。日本植物学会オンライン和文総説集「植物科学の最前線」(未掲載一査読有り) 計6件 8. Muraoka H., Noda H.M., Nagai S., Motohka T., Saitoh T.M., Nasahara K.N. and Saigusa N. (2012) Spectral vegetation indices as the indicator of canopy photosynthetic productivity in a deciduous broadleaf
------------------	---

	<p>forest. Journal of Plant Ecology, doi:10.1093/jpe/rts037 (in press)</p> <p>9. Saitoh T.M., Tamagawa I., Muraoka H., Kondo H. (2012) An analysis of summer evapotranspiration based on multi-year observations including extreme climatic conditions over a cool-temperate evergreen coniferous forest, Takayama, Japan. Hydrological Processes, DOI:10.1002/hyp.9834 (in press)</p> <p>10. Nagai S., Nakai T., Saitoh T.M., Busey R.C., Kobayashi H., Suzuki R., Muraoka H., Kim Y. (2013) Seasonal changes in camera-based indices from an open canopy black spruce forest in Alaska, and comparison with indices from a closed canopy evergreen coniferous forest in Japan. Polar Science, https://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2012.12.001 (in press)</p> <p>11. Noh NJ, Kim C., Bae SW, Lee W-K, Yoon TK, Muraoka H. and Son Y. (2013) Carbon and nitrogen dynamics in a <i>Pinus densiflora</i> forest with low and high stand densities. Journal of Plant Ecology (in press)</p> <p>12. Chung H., Muraoka H., Nakamura M., Han S., Muller O. and Son Y. (2013) Experimental warming studies on tree species and forest ecosystems: A literature review. Journal of Plant Research (in press)</p> <p>13. Noda H.M., Motohka T., Murakami K., Muraoka H. and Nasahara K.N. (2013) Accurate measurement of optical properties of narrow leaves and conifer needles with a typical integrating sphere and spectroradiometer. Plant, Cell and Environment, doi:10.1111/pec.12100 (in press)</p>
<p>会議発表 計26件</p>	<p>専門家向け 計25件</p> <p>1. Saitoh T.M., Nagai S., Yoshino J., Saigusa N., Tamagawa I. and Muraoka H. (2012) Carbon budget in a deciduous broad-leaved forest considering the expanded growing period length by global warming. Japan Geoscience Union Meeting 2012, Makuhari, Chiba, Japan, May 20-25, 2012 (Poster; AHW28-P20).</p> <p>2. Muraoka H., Noda H., Nagai S., Motohka T., Saitoh T.M., Nasahara K.N. and Saigusa N. (2012) Ecophysiological dynamics of forest canopy photosynthesis and its optical observation. Japan Geoscience Union Meeting 2012, Makuhari, Chiba, Japan, May 20-25, 2012 (Poster; AHW28-P18).</p> <p>3. Muraoka H., Nagai S., Noda H.M., Saitoh H.M. and Motohka T. (2012) Linking plant ecophysiology and optical remote sensing to reveal temporal and spatial dynamics of forest canopy photosynthesis. Seminar on long term ecological research in the East Asia Pacific region (EAP-LTER) 2012, July 4-5, Malaysia</p> <p>4. Noda H.M., Murakami T., Nasahara K.N. and Muraoka H. (2012) In-situ and satellite-integrated observations of terrestrial ecosystem. Seminar on long term ecological research in the East Asia Pacific region (EAP-LTER) 2012, July 4-5, Malaysia</p> <p>5. Muraoka H., Nagai S., Saitoh T.M., Inoue T., Noda H.M. and Noh NJ. (2012) "Satellite Ecology": an initiative to achieve cross-scale evaluation of forest ecosystem functions under climate change. The 55th symposium of the international association for vegetation science, 2012, July, 23-28, Hotel Hyundai Mokpo, Korea. (※)</p> <p>6. Saitoh T.M., Noh NJ., Nagai S., Son Y. and Muraoka H. (2012) Carbon partitioning and budget in forest ecosystems in East Asia: combined meta-analysis of tower-flux and biometric data. A3 session 'Carbon cycle in ecosystem dynamics under climate change: new insights by combining ecology, micrometeorology and remote sensing', The 55th symposium of the international association for vegetation science, 2012, July, 23-28, Hotel Hyundai Mokpo, Korea. (※)</p> <p>7. Nagai S., Saitoh T., Maeda T., Nasahara K., Suzuki R. and Muraoka H. (2012) Availability of long-term daily digital camera images to detect characteristics of plant phenology and terrestrial ecosystems. A3 session 'Carbon cycle in ecosystem dynamics under climate change: new insights by combining ecology, micrometeorology and remote sensing', The 55th symposium of the international association for vegetation science, 2012, July, 23-28, Hotel Hyundai Mokpo, Korea. (※)</p> <p>8. Noda H.M., Murakami K., Nasahara K.N. and Muraoka H. (2012) PRIMULAS: a new model to predict optical properties of single leaf. A3 session 'Carbon cycle in ecosystem dynamics under climate change: new insights by combining ecology, micrometeorology and remote sensing', The 55th symposium of the international association for vegetation science, 2012, July, 23-28, Hotel Hyundai Mokpo, Korea. (※)</p> <p>9. Noh NJ., Son Y., Chung H., Jo W., Han S., Lee SJ. and Muraoka H. (2012) Influence of artificial warming on soil CO₂ efflux in an open-field planted with <i>Pinus densiflora</i> and <i>Quercus variabilis</i> seedlings. The 55th symposium of the international association for vegetation science, 2012, July, 23-28, Hotel Hyundai Mokpo, Korea. (※)</p> <p>10. Kuribayashi M., Ohara T., Morino Y., Uno I., Kurokawa J., Hara H. and Muraoka H. (2012) Long-term trends of sulfur deposition in East Asia during 1981-2005. The 55th symposium of the international association for vegetation science, 2012, July, 23-28, Hotel Hyundai Mokpo, Korea.</p> <p>11. 村岡裕由・野田響・斎藤琢・永井信 (2012) 森林生態系の光合成：生理生態学と衛星観測の融合による長期・広域評価。日本植物学会第76回大会 理事会主催シンポジウム「植物バイオマスのマイクロからマクロの動態：生態系・生物多様性と気候変動」(2012年9月16日, 姫路)</p> <p>12. Nagai S., Motooka T., Kobayashi H., Suzuki R., Nasahara K.N., Muraoka H. and Saitoh T.M. (2012) Accuracy evaluation of satellite remote-sensing-based phenological observations in East Asia by performing long-term continuous ground-truthing and ecological examinations, SPIE Asia-Pacific Remote</p>

様式19 別紙1

	<p>Sensing 2012SPIE Asia-Pacific Remote Sensing 2012, Kyoto International Conference Center, Kyoto Japan, 29 October - 1 November 2012, (8524-50)</p> <ol style="list-style-type: none"> 13. 村岡裕由・庄司千佳・永井信・野田響（2012）冷温帯落葉広葉樹林における野外温暖化実験：林冠木の個葉生理生態学的特性への影響。中部山岳地域環境変動研究機構 2012 年度年次研究報告会（高山，2012 年 12 月 13-14 日開催） 14. 栗林正俊・魯南賑・斎藤琢・若月泰孝・玉川一郎・村岡裕由（2012）地域気象モデル WRF の陸面過程の違いが中部山岳域における積雪深の再現性にもたらす影響。中部山岳地域環境変動研究機構 2012 年度年次研究報告会（高山，2012 年 12 月 13-14 日開催） 15. 斎藤琢・永井信・吉野純・三枝信子・玉川一郎・村岡裕由（2012）温暖化による生育期間延長を考慮した落葉広葉樹林における炭素収支。中部山岳地域環境変動研究機構 2012 年度年次研究報告会（高山，2012 年 12 月 13-14 日開催） 16. Nagai S., Nakai T., Saitoh T.M., Busey, R.C., Kobayashi H., Suzuki R., Muraoka H. and Kim Y. (2013) Ground-truth for satellite observation by performing daily field studies in an open-canopy black spruce forest in Alaska and a closed-canopy evergreen coniferous forest in Japan. Third International Symposium on the Arctic Research (ISAR-3), Miraikan, Tokyo, Japan, January 14-17, 2013 (Oral, p.30) 17. Noh N.J., Inoue T., Saitoh T.M., Kuribayashi M. and Muraoka H. (2012) Short-term response of soil respiration to experimental soil warming in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest in Takayama. 中部山岳地域環境変動研究機構 2012 年度年次研究報告会（高山，2012 年 12 月 13-14 日開催） 18. 永井信・鈴木力英・小林秀樹・村岡裕由・奈佐原顕郎・梶原康司・本多嘉明（2013）落葉期の衛星観測の高精度化を目的とした地上検証。第 15 回環境リモートセンシングシンポジウム（千葉大学，2013 年 2 月 22 日開催） 19. 村岡裕由・庄司千佳・永井信・野田響（2013）冷温帯落葉広葉樹林における野外温暖化実験：ミズナラ個葉の光合成・分光特性・フェノロジーに対する温度環境の影響。日本生態学会第 60 回大会（静岡，2013 年 3 月 5-9 日開催） 20. 庄司千佳・梁配平・村岡裕由（2013）冷温帯落葉広葉樹林の光合成能力のフェノロジー－生育型の違いと光・温度環境の影響－。日本生態学会第 60 回大会（静岡，2013 年 3 月 5-9 日開催） 21. 山田晃嗣・村岡裕由（2013）落葉広葉樹稚樹の形態的・生理的特性の季節変化が林床での光合成生産量に与える影響。日本生態学会第 60 回大会（静岡，2013 年 3 月 5-9 日開催） 22. 鎌倉真依・村岡裕由・奥村智憲・小杉緑子（2013）野外温暖化実験におけるミズナラの個葉ガス交換特性に対する温度の影響。日本生態学会第 60 回大会（静岡，2013 年 3 月 5-9 日開催） 23. 野田響・本岡毅・村上和隆・奈佐原顕郎・村岡裕由（2013）積分球を用いた細い葉および針葉の分光反射率・透過率の測定方法。日本生態学会第 60 回大会（静岡，2013 年 3 月 5-9 日開催） 24. Noh N.J., Inoue T., Kuribayashi M., Saitoh T.M., Nakaji T., Hiura T. and Muraoka H. (2013) Effect of experimental soil warming on soil respiration in deciduous broad-leaved forests in Takayama and Tomakomai, Japan. 日本生態学会第 60 回大会（静岡，2013 年 3 月 5-9 日開催） 25. 栗林正俊・魯南賑・斎藤琢・伊藤昭彦・村岡裕由（2013）気候モデルの時空間解像度の違いが中部山岳域の森林生態系の炭素収支推定にもたらす影響。日本生態学会第 60 回大会（静岡，2013 年 3 月 5-9 日開催） <p>（※）は海外の学会年次大会にて代表者（村岡）が共同主催を務めたシンポジウムでの発表。</p> <p>一般向け 計1件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 岐阜大学フェア 2012（11 月 2-3 日）パネル展示 「森林生態系における野外温暖化実験の試み」
<p>図書 計1件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muraoka H., Ishii R., Nagai S., Suzuki R., Motohka T., Noda H., Hirota M., Nasahara K.N., Oguma H. and Muramatsu K. (2012) Linking remote sensing and in situ ecosystem/biodiversity observations by "Satellite Ecology". In: Shin-ichi Nakano et al. (eds.), The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: toward further development of monitoring, Ecological Research Monographs, Springer Japan. DOI 10.1007/978-4-431-54032-8_21
<p>産業財産権 出願・取得状況 計0件</p>	<p>（取得済み）計0件</p> <p>（出願中）計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://www.green.gifu-u.ac.jp/~muraokalab/</p>

様式19 別紙1

国民との科学・技術対話の実施状況	「岐阜大学フェア」(2012年11月2-3日, 会場: 岐阜大学)において, 学内の研究者や学生, 地域住民を対象として, 本研究の取り組みを広く公開することを目的として「森林生態系における野外温暖化実験の試み」に関するパネル展示を行った。
新聞・一般雑誌等掲載計〇件	
その他	本研究課題は日本長期生態学研究ネットワーク (JaLTER) の研究活動にも寄与することとなっている。また特に森林葉群フェノロジーの長期観測については国際長期生態学研究ネットワーク (ILTER) のフェノロジー観測ネットワーク形成にも寄与する予定である。

4. その他特記事項

特になし

実施状況報告書(平成24年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	99,000,000	39,624,000	31,924,000	27,452,000	0
間接経費	29,700,000	11,887,200	9,577,200	8,235,600	0
合計	128,700,000	51,511,200	41,501,200	35,687,600	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	6,904,107	31,924,000	0	38,828,107	38,128,107	700,000	4,133
間接経費	2,071,233	9,577,200	0	11,648,433	11,438,432	210,001	0
合計	8,975,340	41,501,200	0	50,476,540	49,566,539	910,001	4,133

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	20,638,661	植物生理総合診断システム等
旅費	3,355,727	国際長期生態学研究ネットワーク委員会参加(マレーシア)等
謝金・人件費等	11,530,960	研究員人件費 等
その他	2,602,759	学会参加費、建物設備 等
直接経費計	38,128,107	
間接経費計	11,438,432	
合計	49,566,539	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
全自動土壌呼吸測定システム本体	メイワフォーシス(株)	1	3,284,589	3,284,589	2012/4/16	岐阜大学
高山試験地無線LAN増強	(有)アクアシテム	1	781,200	781,200	2012/8/8	岐阜大学
植物生理総合診断システム	メイワフォーシス(株)	1	10,223,220	10,223,220	2013/3/21	岐阜大学