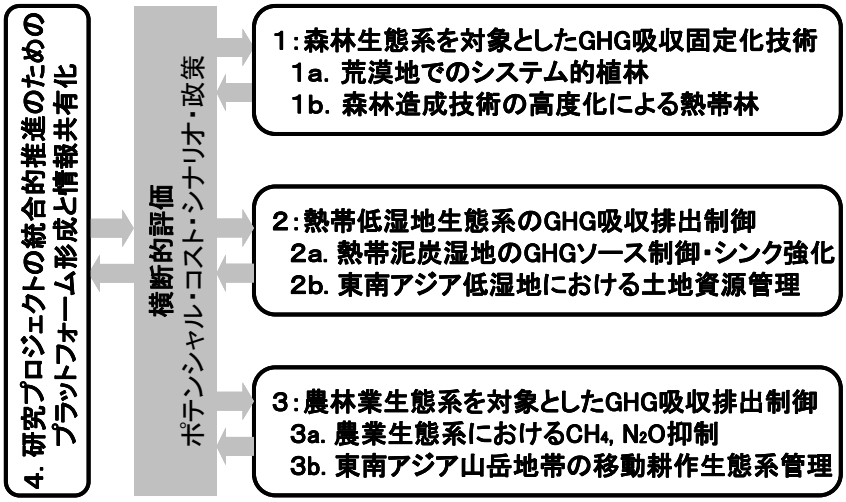
課題名	Ｓ－２陸域生態系の活用・保全による温室効果ガスシンク・ソース制御技術の開発 － 大気中温室効果ガス濃度の安定化に向けた中長期的方策－ ４．研究プロジェクトの統合的推進のためのプラットフォーム形成と情報共有化		
課題代表者名	山田　興一（成蹊大学 理工学部　山田研究室）		
研究期間	平成15－19年度	合計予算額	75,662千円（うち19年度 15,070千円） 「上記の合計予算額には、間接経費 17,459 千円を含む」
研究体制 ４．研究プロジェクトの統合的推進のためのプラットフォーム形成と情報共有化（成蹊大学）			

I.テーマ４の全体構成

本プロジェクトでは、陸域生態系の中でも、特に技術開発後の温暖化抑制ポテンシャルが大きいと期待される、森林生態系、熱帯低湿地生態系、農林業生態系の三つの生態系について、各々2テーマずつを設置し、シンク・ソース技術を開発することを目指した。

本研究プロジェクトのそれぞれのテーマについて個別の技術開発をすすめるだけでなく、テーマ4で1ａから3ｂの全てのテーマを結びつけるプラットフォームを構築した。これは、それぞれの研究成果情報を共有化・統合化し、開発された技術及び得られた知見を広範な地域へ適用した場合の温室効果ガス削減量、環境への影響、コスト等に関して技術的側面からまとめた横断的評価である。情報の共有化とフィードバックを繰り返すスパイラルアップによって、プロジェクトは効率的に運営された。



Ⅱ.本研究により得られた科学的成果

・それぞれのチームの成果に基づき、開発された技術及び得られた知見を広範な地域へ適用した場合の温室効果ガス削減量、環境への影響、コスト等に関する技術的側面からの横断的評価を実施した。

・横断的評価の結果、各研究テーマによって研究開発された技術に基づく削減プロジェクトが全て実施されたとするとGHG削減ポテンシャルとして20年間で100億t-C以上になると推定された。

・このうち、最大のポテンシャルをもつのは開発によりCO_2排出が増大している東南アジア泥炭地で20年間で36億t-Cあった。

・コスト、技術完成度、環境影響の観点から、短期間に実施可能で政策シナリオに結びつく方法を各研究テーマから抽出した。各チームから抽出されたテーマは

1aではオーストラリア乾燥地でのハードパン爆破による植林CO_2固定方法

1bでは早生樹林育成と木材生産によるCO_2固定

2aでは泥炭開発地の再湿地化と植林によるCO_2排出量削減

2bでは泥炭開発地の水田化によるCO_2排出量削減

3aではインドネシア水田の水管理によるCH_4排出量削減

であった。コストは目標とした100$/tC以下の方法が大部分であった。

Ⅲ.成果の地球環境政策への貢献

・それぞれのチームの成果に基づき、開発された技術及び得られた知見を広範な地域へ適用した場合の温室効果ガス削減量、環境への影響、コスト等に関する技術的側面からの横断的評価を実施した。これは今後の政策決定に寄与するものと期待される。

・各チームとの協力の下、それぞれの技術の位置づけが明確になり、経済環境評価を明確にした、科学的根拠のあるGHG固定・削減システムの政策提言のための基本データが集積された。

IV.研究概要

１．序（研究背景等）

中長期的視点すなわち京都議定書第二約束期間以降を見据えた大気中の温室効果ガス濃度の安定化に向け、地球環境政策オプションを支える新たな技術開発が求められている。特に、陸域生態系の活用・保全を通じて温室効果ガスのシンクを増強し、ソースへの転換を防止あるいは排出抑制するための技術については、温暖化抑制技術としてのポテンシャルが非常に大きいと考えられており、また、人類が再生可能エネルギーへの完全転換を実現するまでの期間において、最も信頼でき、低コストで広範囲への適用が可能な貴重な技術として期待されているものの、科学的知見や基盤技術の整備は未だ非常に不十分な段階にとどまっている。今後、CDMあるいはJIへの適用を視野に入れた場合も含めて、このような技術の開発促進及びそれに伴う様々な環境影響の把握等、広範な科学的知見の蓄積が喫緊の課題となっている。

２．研究目的

陸域生態系の中でも地球温暖化抑制ポテンシャルが大きいと期待される、森林生態系、熱帯低湿地生態系、農林業生態系において温室効果ガス（GHG）の排出量低減/固定量増加のためのシンク・ソース制御技術を開発することを本プロジェクトの目的とする。さらに、開発された技術及び得られた知見を広範な地域へ適用した場合の温室効果ガス削減ポテンシャル、環境への影響、コストを明らかにし環境政策へ役立てることも目的である。

３．研究の方法及び結果

本プロジェクトでは1aから3bまで6つのテーマでGHG排出削減のシステムを開発している。それらシステムを効率的に開発し、プロジェクト全体としての成果を最大限にするために各開発システムの位置づけを明確にする必要がある。

このための横断的評価の目標・要件をまとめると

評価はGHG制御への寄与を主な基準とする。

（１）テーマ間の比較にとどまらず、広く一般のGHG制御技術との比較を可能とする必要がある

（２）各要素技術の開発の難易度・不確実性についても評価する

（３）評価結果は、CDM、JI等のUNFCCCの枠組みとシームレスにつながる事が望ましい

（４）評価に際して各テーマの実施グループに過剰な負荷を求めない

（５）評価の枠組みの妥当性・有用性について、定期的に点検し改善する

となる。

本プロジェクトのGHG削減ポテンシャルは1a～3b の合計で10,600MtCと大きな値であった。まとめを表1に示す。コスト低減技術を開発しつつ実現化するGHG削減量の経時変化と削減ポテンシャルを図1に示す。

表1 固定/削減ポテンシャルと類似生態系での位置づけ

	1a		1b	2a
テーマ	荒漠地植林	小麦ベルトにおける部分植林	木材生産性の向上による植林推進	熱帯泥炭湿地からのGHG抑制
対象地面積 km^2	2,500(実験地) 2,250,000(西豪) 4,700,000（全球）	62,000（西豪） 554,000（全球） (塩類集積農地)	335,000 （インドネシア） 884,000（全球） (湿潤熱帯域)	320（タイ国王私有地） 51,400（東南アジアの開発済み泥炭湿地）
吸収ポテンシャル*MtC	700（西豪） 1,800（全球）	4（西豪） 40（全球）	19（インドネシア） 50（全球）	3,600
備考	● 降雨200-300mm地域(1,120,000km^2)の３０％の降雨を集中させて利用	● 中規模塩害面積5000km^2（作付け面積の8%） ● 全球は554,000km^2	● 耕作可能面積の5%での実施を想定(全球44,200 km^2)	● 全球熱帯雨林の蓄積の1% ● 開発地の泥炭分解を防ぐ ● 泥炭湿地の20%が開発済みと仮定して計算 ● 分解速度は利用形態で変動 18-68tC/(ha・y)

*削減・吸収量は20年間の量

表1 固定/削減ポテンシャルと類似生態系での位置づけ(つづき)

	2b	3a		3b
テーマ	熱帯泥炭湿地の天然林の保存と植林推進	水田からのCH_4発生削減	反すう家畜からのCH_4発生削減	焼畑耕作の改善
対象地面積 km^2	500(ブルバクデルタ) 200,000(東南アジア泥炭湿地)	131,000,000 (世界)	30,800,000 (アジア)	1,000,000 (過剰に耕作されている焼畑農地)
吸収ポテンシャル*MtC	3,600	削減ポテンシャル 650	削減ポテンシャル 370	490
備考	● 森林の荒廃を防ぐ ● エンパワーメントの有無で20年後の森林面積に20%の差が付くと仮定 ● 荒廃水田の再生など	● 持続的な削減が期待できる ● 全球の水田からのCH_4の3%、反すう家畜からのCH_4の1%に相当 ● 他ソースからのCH_4、N_2O削減も ● GHGソースデータ蓄積中 ● 新技術導入評価、実証中		● 東南アジアの焼畑2,000,000km^2 ● 50%が過剰耕作されていると想定 ● 生態系炭素ストックの増加量で評価

*削減・吸収量は20年間の量

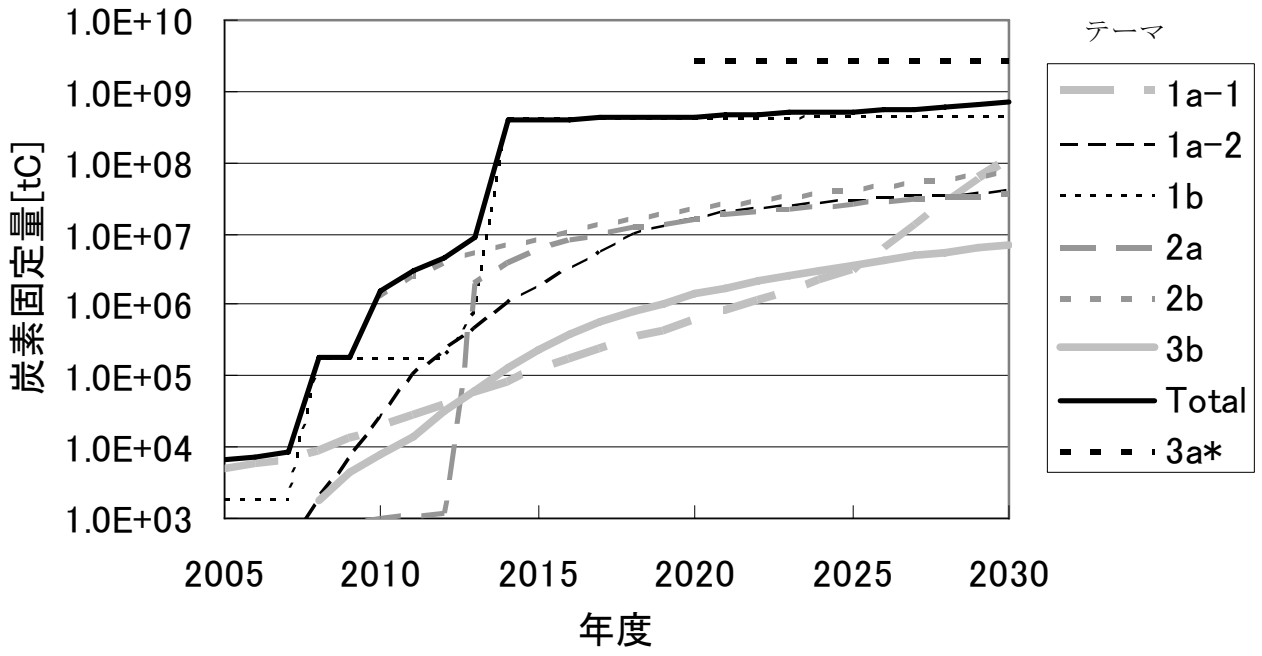


図1　累積GHG削減量の経時変化テーマの予想。1a-1は荒漠地植林、1a-2は小麦ベルトにおける部分植林である。3aはサブサブテーマの削減予測を合算したもの。なお、継続的な削減となるので、20年当たりの削減量を示した。

（２）各チームで進められている技術開発をもとに、政策シナリオに結びつくよう削減技術を絞り、削減コスト計算ができるような整理をした。同時に、固定効率についての評価も行った。

選択した技術は 1aではオーストラリア乾燥地でのハードパン爆破による植林と塩害防止植林によるCO_2固定の2方法、1bでは早生樹林育成と木材生産によるCO_2固定、2aでは泥炭開発地の再湿地化と植林によるCO_2排出量削減、2bでは泥炭開発地の水田化によるCO_2排出量削減、3aではインドネシア水田の水管理によるCH_4排出量削減、畜産業における最適飼料選択によるCH_4排出量削減、などである。

例として1a、2a、3aのコスト計算結果を示す。

１）1a：ハードパン爆破による植林（西オーストラリア乾燥地）

西オーストラリア乾燥地帯の浸食裸地下に存在するハードパンを爆破し、その爆破孔にユーカリを植林しCO_2を固定する。　CO_2固定コストは16,000円/t-Cであった。

植林のための工事作業により排出されるCO_2は樹木成長により固定される量の約2%であった。

２）2a：泥炭開発地（オイルパーム植林地）の再湿地化植林

タイで進められている泥炭開発地でのオイルパームプランテーションを元の湿地メラルーカ林に再生するコストを計算した。

この植林によりCO_2が樹木として固定されると共に、泥炭酸化が防止される。この固定と酸化防止により23t-C/ha・yもの削減が可能となる。この削減コストは約1,000円/t-Cと計算された。

また、削減システム構築のためのCO_2排出量は削減量の0.1%以下と無視できる値であった。

３）3a：水田の水管理によるCH_4排出制御（インドネシア）

水稲栽培期間中の落水（中干し）を強化することによりメタン排出量は約60%に削減される。

インドネシア南カリマンタン州の水田については、潅漑水の管理を可能とするため、水口にコンクリート製のゲートを作成する。

この方法により、CH_4排出量は 141kg/ha・y(炭素換算値：0.8-C/ha・ｙ)減少する。ゲートなどの設置費用は20,000円/ha(年間経費：2,000円)、中干し人件費1,200円/ha・yと計算された。この値から削減コストを計算すると　4,000円/t-C　となる。

この工事、作業により排出されるCO_2量は後で削減されるCH_4量（CO_2換算値）の1%以下である。

（３）プラットフォーム用フレームワーク

プラットフォームでの利用を念頭に、シミュレータの開発、実行、複数のシミュレータの連携を目的としたソフトウェアフレームワークを作成した。このフレームワークを利用する事によって、利用する変数の変数名、デフォルト値、説明文書等の情報が一つのファイルにまとめられ、データの一元的管理が可能となる。フレームワークでの統一されたデータ構造とシミュレーションプログラムの組み合わせを利用して、複数のシミュレータ間のデータ連携が容易となる。

４．考察

陸域生態系の中でも、特に技術開発後の温暖化抑制ポテンシャルが大きいと期待される、森林生態系、熱帯低湿地生態系、農林業生態系のそれぞれについて、各々2テーマずつを設置し、シンク・ソース技術を開発することを目的として、本プロジェクトを進めた。

このように多岐に渡る研究テーマをプロジェクトの目的達成に向けて、効率的に推進し、実用可能な開発技術とするための統合的プラットフォームとして、各研究テーマから提案される削減技術を実施した場合のGHG削減・固定ポテンシャル、削減のためのコスト、プロジェクトとして実施されるまでのロードマップなどを横断的に評価する試みを実施した。対象や手法が異なる複数のプロジェクトを同じ基準で評価するには多くの手順が必要で、不確実性のため時に大胆な仮定も必要となったが、その作業を通じて各研究テーマでの目標の明確化とテーマ間での研究内容の相互理解が進むことによって、本研究の目的のひとつである効率的なプロジェクトの推進が実現されたと考える。

横断的評価の結果、各研究テーマによって研究開発された技術に基づく削減プロジェクトが全て実施されたとするとGHG削減ポテンシャルとして20年間で100億t-C以上になると推定された。このうち、最大のポテンシャルをもつのは開発によりCO_2排出が増大している東南アジア泥炭地であり、その量は36億トンC　にも達した。

コスト、技術完成度、環境影響の観点から、短期間に実施可能で政策シナリオに結びつく方法を各研究テーマから抽出した。コストは目標とした100$/tC以下の方法が大部分であった。

各チームから抽出されたテーマは1aではオーストラリア乾燥地でのハードパン爆破による植林CO_2固定方法、1bでは早生樹林育成と木材生産によるCO_2固定、2aでは泥炭開発地の再湿地化と植林によるCO_2排出量削減、2bでは泥炭開発地の水田化によるCO_2排出量削減、3aではインドネシア水田の水管理によるCH_4排出量削減、であった。

まとめを下表に示す。

表 2.　GHG 排出削減コスト、効率および削減量の横断的評価の結果

GHG排出削減コスト，効率及び削減量

テーマ	固定/削減速度 (tC/ha･y)	コスト (円/tC)	効率* (20年間)	削減量2020年 (10^3tC/y)
1a	3.7	16,000	60	30
1b	1.2	1,000	600	10
2a	30	1,300	1,000	6,000
2b	18	2,000	(700)	10
3a	0.8 0.6(新潟)	4,000(インドネシア 250，000(新潟)	500 5(新潟)	200 (40)
3b	1.7	600	(>100)	10

*効率＝CO2削減量/システム構築CO2排出量　　合計 6.5MtC/y

５．研究者略歴

テーマ代表者：山田興一

1939年生まれ、横浜国立大学工学部電気化学科卒業、工学博士、信州大学繊維学部教授
現在、成蹊大学・特別研究招聘教授

６．成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1)査読付き論文

1) S. Sinha, Sanjay Kumar, T. Matsumoto, H. Hamano and T. Kojima: Arid Land Geography, 26(S), 66-71 (2003) “Salt and Water Movement in Standard Toyoura Sand: Theoretical Estimation and Experimental Evaluation”
2) T. Kojima, J. Ishida, H. Hamano, K. Tahara and K. Yamada: Arid Land Geography, 26(S), 100-103 (2003) “Evaluation of Mixing Effects of Soil Conditioners under Dry Condition”
3) T. Kojima, E. Komaki, K. Hayakawa, S. Kato and H. Hamano: J. Arid Land Studies, 14(S), pp.151-154 (2004) ″Quantitative Evaluative of Artificial Aggregate Formation″
4) Y. Abe, M. Taniguchi, H. Suganuma, M. Saito, Y. Yamamoto, K. Yamada, T. Kojima, Y. Egashira: J. Chem. Eng. Jpn., 36(4), 376-382 (2003) “Comparative Analysis Between Biomass and Topographic Features in an Arid Land, Western Australia”
5) Koichi Yamada, Toshinori Kojima, Yukuo Abe, Masahiro Saito, Yasuyuki Egashira, Nobuhide Takahashi, Kiyotaka Tahara and Jhon Law: J. Chem. Eng. Japan, 36, 328-3332 (2003) “Restructuring and afforestation of hardpan area to sequester carbon”
6) Egashira, D, Tomii, K. Ueyama, N. Takahashi, T. Kojima, Y. Abe, M. Saito, K. Yamada: J. Chem. Eng. Jpn., 36(4), 383-390 (2003) “Development of Integrated Simulator of Water Transport and Plant Growth as an Evaluation Tool of Arid Land Afforestation for CO2 Fixation”
7) N. Takahashi, K. Tahara, H., Utsugi, T. Kojima, Y. Egashira, Y. Abe, M. Saito, K. Yamada: J. Chem. Eng. Jpn., 36(4), 391-400 (2003) “Water Use Efficiency of Eucalyptus Camaldulensis Growing in Arid Regions in Western Australia”
8) 小島紀徳・松本剛・池田裕弥・濱野裕之・加藤茂・岡田直紀・坪山良夫・斉藤昌宏・安部征雄・高橋伸英・山田興一：水文・水資源学会誌, 16(5), 518-526 (2003)「安定同位体比分析を用いた豪州乾燥地域における樹木の水源推定に関する研究」
9) T. Kojima, J. Ishida, H. Hamano, K. Tahara and K. Yamada: Arid Land Geography, 26(S), 100-103 (2003) “Evaluation of Mixing Effects of Soil Conditioners under Dry Condition”,
10) T. Saito, Y. Abe, H. Yasuda, T. Kojima and K. Yamada: Arid Land Geography, 26(S), 233-236 (2003) “Runoff Water Collection and Evaporation Control by means of Highly Permeable Ditch”,
11) 加藤茂・照井岳也・藤重正洋・上宮成之・小島紀徳・山田興一：Macro Review, 16(2), 3-12(2004)「無機保水材焼成ボー キサイトの肥料吸着と溶出」
12) 高橋伸英・小林亮・新井親夫・小島紀徳・山田興一：化学工学論文集, 30(4), 537-540 (2004)「焼成ボーキサイト混入による土壌の保水性改良効果」
13) N. Saito, S. Kato, T. Kojima, H. Hamano, K. Tahara, N. Takahashi and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14(S), pp.53-56 (2004) ″Establishment of the Method to Estimate of Water Requirement Per Unit Carbon Fixation of a Tree in Arid Land″
14) T. Matsumoto, S. Kato, S. Sinha, Sanjay Kumar, Y. Abe, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14(S), pp.147-150 (2004) ″ Estimation of Water Behavior for Afforestation in Desert of Western Australia using Stable Istope Ratio Analysis″
15) H. Hamano, J. Ishida, T. Kojima, Y. Abe, M. Saito, N. Takahashi and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14(S), pp.219-222 (2004) ″Infiltration Properties of Arid Land with Various Conditions in Leonora, Western Australea″
16) T. Kojima, N. Asaka, J. Ishida, H. Hamano and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 14(S), pp.223-226 (2004) ″Development of a Model for Large Scale Water Balance in Arid Land”
17) Hideki Suganuma, Yukuo Abe, Masahiko Taniguchi, Masahiro Saito, Koichi Yamada: Journal of Arid Land Study, Vol. 14-S, pp85-88 (2004) ″Fundamental Research on Detection of Stand Biomass Change in an Arid Rangeland.″
18) Hideki Suganuma, Yukuo Abe, Masahiko Taniguchi, Masahiro Saito, Koichi Yamada: Journal of Arid Land Study, Vol. 14-S, pp85-88 (2004) ″Fundamental Research on Detection of Stand Biomass Change in an Arid Rangeland.”

19) 田内裕之、宇都木玄、濱野裕之、高橋伸英、安部征雄、山田興一：日本林学会関東支部大会発表論文集、55, 131-132 (2004)「肥大か膨張かー精密デンドロメータによる乾燥地樹木の成長動態解析からー」
20) T. Hirukawa, N. Asak, C. Naito, H. Hamano, T. Kojima and K. Yamada : Proceeding of the Fifth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environment Technologies (2005) "A modeling methodology of large scale water balance for selection of afforestation site"
21) 山田興一, 小島紀徳, 安部征雄, 江頭靖幸, 田内裕之, 高橋伸英, 濱野裕之, 田原聖隆: エネルギー・資源, 26(6), 435-441 (2005)「乾燥地植林による炭素固定システム構築-土壌構造改良による炭素固定促進-」
22) T. Kojima, S. Kaneoya, E. Komaki, H. Hamano, S. Kato and M. Matsukata: Proceeding of the Fifth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environment Technologies (2005) "Evaluation of mixing effect of various zeolites on soil properties"
23) E. Komaki, S. Kat, H. Hamano and T. Kojima : Proceeding of the Fifth Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environment Technologies (2005) "Long term variation in soil physidal properties by artificial aggregate formation"
24) H. Hamano, N. Saito, T. Kojima, S. Kato, M. Saito, A. Kinnear and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 231-234 (2006) ″Death of Trees in the Wheat Belt Western Australia: Indentification of the Causes by Chemical Analysis of Soil″
25) S. Kawarasaki, S. Kaneoya, H. Tanouchi, H. Hamano, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 235-238 (2006) ″Effect of temperature and light on germination of 12 afforested trees in South Western Australia″
26) Adrianne Kinnerar, Peter Curry, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 239-242 (2006) ″Soil Mites in Re-afforested, Semi-arid Landscapes in Western Australia″
27) T. Hirukawa, N. Asaka, H. Hamano, K. Yamada and T. Kojima: J. Arid Land Studies, 15-4, 247-250 (2006) ″A Modeling Methodology of Large Scale Water Balance and Salt Accumulation for Afforestation in Arid Land″
28) K. Shiono, H. Suganuma, Y. Abe, H. Tanouchi, H. Utsugi, M. Saito, N. Takahashi, T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 251-254 (2006) ″Biomass Growth Estimation of an Afforestation Site and Natural Forests in an Arid Land of Western Australia″
29) Y. Egashira, M. Shibata, K. Ueyama, H. Utsugi, N. Takahashi, S. Kawarasaki. T. Kojima and K. Yamada: J. Arid Land Studies, 15-4, 263-266 (2006) ″Development of Tree Growth Simulator Based on Process Model of Photosynthesis for Eucalyptus Camaldulensis in Arid Land″
30) N. Takahashi, H. Hamano, Y. Abe, T. Kojima and K. Yamada: ″Effect of Calcined Bauxite as a Water-holding Material and a Way of Mixing it with Soil on Tree Growth″, J. Arid Land Studies, 15-4, 275-278 (2006)
31) Hideki Suganuma, Y. Abe, Masahiko Taniguchi, H. Tanouchi, Hajime Utsugi, T. Kojima, K. Yamada: Forest Ecology and Management, 222, 75-87 (2006) ″Stand biomass estimation method by canopy coverage for application to remote sensing in an arid area of Western Australia″
32) Tsuyoshi Matsumoto, Toshinori Kojima: J. Arid Land Studies, 16-1, 53-59 (2006) ″Simulations of salt accumulation at soil surface under different annual precipitation amounts in arid Leonora area, Western Australia″
33) Kumada, S., Kawamishi, T., Hayashi Y., Ogomori, K., Kobayashi, Y., Takahashi, N., Saito, M, Hamano, H., Kojima, T., Yamada, K. Journal of Ecotechnology Research 12, 167-170 (2006) ″Litter and Soil Carbon Dynamics Model in Arid Forest Ecosystems: Application to Sturt Meadows Experiments in Western Australia.″
34) 菅沼秀樹, 長谷修平, 安部征雄, 田内裕之, 小島紀徳, 山田興一：日本リモートセンシング学会誌 26-2, 95-106 (2006)「植生指数と植生分類を組み合わせた乾燥地林分バイオマス推定手法の有効性の検討」
35) 菅沼秀樹, 安部征雄, 谷口雅彦, 山田興一：写真測量とリモートセンシング 45-3, 12-23 (2006)「乾燥地におけるデジタル航空写真解析による林分バイオマス推定手法の検証」
36) Hiroshi Iwasaki, Nobuhide Takahashi, Atsushi Kobayashi, and Koichi Yamada Journal of the Japan Institute of Energy, 85, 542-551 (2006) ″Improvement of the Fermentation Process for Bioethanol -High Speed Fermentation Process-″

(2)査読付論文に準ずる成果発表（社会科学系の課題のみ記載可）
なし