

### 3 農林業生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価

#### (3b) 東南アジア山岳地帯における移動耕作生態系管理法と炭素蓄積機能の改善に関する研究

##### (1) リモートセンシング等による移動耕作生態系の変動と立地環境の解明

##### 2) 気象資源の広域的分布特性および生態系動態との関係解明 (EFF)

独立行政法人農業環境技術研究所

地球環境研究部生態システム研究グループ

Ranga E. Ranatunge

井上吉雄

<研究協力者>

ラオス国立農林業研究所

Linkham Douangsavanh

平成15～16年度合計予算額 1,915千円

(うち、平成19年度予算額 0千円)

上記の合計予算額には、間接経費 442千円を含む。

[要旨] 本研究では、ラオスにおける降水量の空間的・季節的特徴およびENSOの影響を要因分析モデルにより調べた。その結果、降水量からみた最も適切な季節区分は、(1)雨期 [5月～9月]、(2)中間期[10月～11月]、(3)乾期[12月～2月]であることを明らかにした。降水量の空間的・季節的変動に対するENSOの影響を解析した結果、多くの地帯でENSO年には降水量が有意に少ない傾向が認められた。降水量と米収量の間には有意な正相関があり、焼畑地帯であるルアンプラバンでは4月～5月の降水量と米収量の間特に強い相関関係 (0.1%レベルで $r=0.94$ 有意) が見られた。北部山岳地帯では、米収量は1990年～2000年を通して多くの県で有意な増加トレンドを示し、これは降水量の増加トレンドと一致した。ENSOの地域降水量に対する影響、ならびに地域降水量の稲生産性に対する影響を明確にした。

キーワード：ENSO、要因解析モデル、降水量、陸稲、ラオス

#### 1. はじめに

最近のIPCC (気候変動に関する政府間パネル) の報告書は、「20世紀のアジアなど多くの地域での降水量の変動が、地球規模の気候や環境変化という文脈の中で、重要な周期的気象事象であるエルニーニョ南方振動 (ENSO) と強い関連がある」ことを示唆している。しかし、ラオスではENSOの影響はこれまでになかった。

ラオスでは、一般に雨季と乾季と呼ばれる2つの稲作期があり、前者の季節が全生産の大部分をもたらしている。ラオスの米の96%以上が、4月から8月まで続く雨期に、天水式で耕作されている。収穫面積のわずかに約3%が灌漑式で、これは主に12月から2月までの乾期に稼働する。ラオス農林省のデータによると、焼き畑稲作の行われている地域が増加している一方、氾濫原や高地地方の棚田は、異常洪水や異常干ばつの結果放棄されている (Sisouphanthong and Taillard

2000)。ラオスにおける米生産に対する降雨気候学の重要性にもかかわらず、米生産と降水量変動の関係やENSOのような中規模影響要因に起因する不規則性については、まった知見がない。

## 2. 研究目的

ラオスにおける空間的・時間的降水量変動パターンの特徴を明らかにし、地域降水量に対するメソスケールの気候変動ENSOの影響、ならびに稲の生産性に対する降水量の影響を解明する。お

## 3. 研究方法

### (1) データ

ENSOに関連のある経年間降水量変動とトレンドの分析には長期(1951年~1999年)の月間降水量データ系列が利用できる2つの地点(ルアンプラバンとビエンチャン)を選んだ。ENSOイベントは海洋気象予測研究センター([http://www.coaps.fsu.edu/~legler/jma\\_index1.shtml](http://www.coaps.fsu.edu/~legler/jma_index1.shtml))から得た定義によって計算した。稲収量については1990年~1999年の13地点全てのデータ(収穫地域・収量・生産物データ)を分析した。

### (2) 分析手法

気候研究用の多変量解析手法である2段階最小二乗法(TSLS)(Joreskog et al., 2000)に基づいた要因解析モデル(FAM)を用いた。月別のENSO影響分析にはt検定を用いた。降水量データのトレンドは、線形回帰分析及びケンドール検定を用いて検証した(Kendall and Ord, 1990)。降水量と収量データの関係は順位相関を用い、収量トレンドは線形回帰及びケンドール検定を用いて分析した。

## 4. 結果・考察

### (1) 因子モデルによって識別された降水型

ラオスの3つの支配的降水型は、1) FM1: 4月~9月、2) FM2: 10月~11月、3) FM3: 12月~3月であることがわかった。すなわち、降水量分布の年間パターンによると、支配的降水型には、(1) 雨期降水、(2) 乾期降水、(3) 中間期降水の特徴があり、3つの季節それぞれの平均月間降水量は、250mm、50mm、20mmである。雨期降水は、南西モンスーンの強い影響を受けており、乾期降水は、冬モンスーンによって支配されていた。

### (2) 降水パターンに対するENSOの影響の一般的傾向

1991年~1999年に3つのENSOイベントがあり、それぞれの因子スコアから、ENSO年の大部分は、地点各地で雨期及び中間期には、降水量が低下する傾向が認められた。アッタプーを除く13地点各地では、雨期及び中間期には、ニュートラル期より少ない降水量を記録した。ラオスの最南に位置するアッタプーでは、1991年のエルニーニョ・イベント期間の雨期降水量の増加と、3 ENSO年全ての期間中の中間期降水量の増加も示した。雨期及び中間期降水量で観測された地域的なENSOの影響とは対照的に、南部ラオスの全地点(カムムアン、サバンナケート、サラバン、セーコン、チャンパサク、アッタプー)では、乾期の3 ENSOイベント全てで降水量の増加を示した。

1991年のエルニーニョ・イベントでは、乾期のルアンプラバンを除く全地点で、降水量の増加が認められた。特に、3つの降雨期全ての期間中のルアンプラバンの全ENSO年で、ニュートラル年の降水量を下回る傾向が明らかになった。

### (3) ルアンプラバンとビエンチャンの降水量に対するENSOの影響

1951年～2000年の期間に12のエルニーニョ年、12のラニーニャ年、26のニュートラル年があった。ニュートラル年と比べると、エルニーニョ年及びラニーニャ年の降水量は少なく、両地点でのエルニーニョ年に最低降水量を記録した。エルニーニョ年、ラニーニャ年、ニュートラル年の平均年間降水量は、ルアンプラバンではそれぞれ1,592mm、1,673mm、1,687mmで、ビエンチャンではそれぞれ1,244mm、1,222mm、1,327mmであった。エルニーニョ年、ラニーニャ年、ニュートラル年期間の経年降水量変動 (SD) は、ビエンチャンでは185mm、235mm、311mmで、ルアンプラバンでは330mm、163mm、265mmであった。変動は0.01で有意であった。このことからENSO年期間には、ニュートラル年より降水量がかなり少ないことが判明した。エルニーニョ年・ラニーニャ年の間の降水量低下量、ビエンチャンでは-95mm、-14mm、ルアンプラバンでは-84mm、-105mmであった。

### (4) ルアンプラバンとビエンチャンの降水量におけるトレンド

年間降水量の長期トレンドは、ビエンチャンでは負 (-0.43mm/y)、ルアンプラバンでは正 (5.33mm/y) であった。ルアンプラバンの正のトレンドは、 $p < 0.05$ で線形かつ有意であり、1951年～2000年の50年を通して降水量は250mm増加した。ビエンチャンの年間降水量において観測された負のトレンドは、統計的に有意ではなかった。

### (5) 降水量と陸稲生産の関係

14の県について、降水量と米収穫地域、米収量、米生産量との関係を分析した結果、有意な相関はおもに降水量と米収穫量の間認められた。これは降水条件の他に、多くの他の要因が合計生産量に影響を与えることを示唆している。ラオス政府は、特に1990年～2000年に、稲作などの農業計画に様々な政策を実施してきたことを強調しておかなければならない。

収量は7県で4・5月降水量と有意な相関があり、ルアンプラバンでは0.1%レベルで有意な  $r = 0.94$  という高い相関係数が得られた。ルアンプラバン県では、多くの月あるいは複合月 (4月～8月、4月、4月～5月、5月～6月、4月～6月) の降水量と収量の間有意な正の相関関係が認められた (それぞれ  $r = 0.43, 0.76, 0.94, 0.44, 0.76$ )。一方、アッタプー県及びポンサリ県で、米収量と降水量の間に正の関係が見られた月もあったが、統計的に有意であったのは、アッタプー県の4月 ( $r = 0.59$ ) と4月-5月 ( $r = 0.49$ ) のみ、ポンサリ県の5月-6月 ( $r = 0.67$ ) と6月～7月 ( $r = 0.75$ ) であった。

### (6) 陸稲収穫面積・収量・米生産量におけるトレンド

5県の米収穫面積に著しい減少トレンドが見られ、1県で増加トレンドが見られた。残りの8県では、有意なトレンドは観測されなかった。収穫面積の減少程度は県によって676.9～1832.8 ha/yと変動した。サイニャブーリー県の425 ha/yでは特に大きな増加変化が見られた。合計生産量も、4県で著しい増加トレンドを示した。また、残りの県の大部分では、一般的な減少トレンド

ドが見られたが、有意ではなかった。米生産量の減少程度は $-575 \sim -1423$  t/yで、ビエンチャン県において最大を記録した。一方、収量は4県を除く全ての県において著しい増加トレンドを示した。ビエンチャン県、ポンサリ県、ルアンプラバン県、カムムアン県、アッタプー県の増加変化は、1年当り0.05、0.048、0.06、0.04 t/haと推定された。

降水量と米収穫面積・収量・生産量データの間関係の分析から、統計的に有意ないくつかの相関係数が見出された。近年の収穫面積と米生産量には、降水量を介して影響を与えるENSOのような気候影響もあるが、県によっては政府による政策的なコントロールが存在する可能性を示唆している。しかし、米収量の増加傾向については、Fukai and Basnayake (2000)も確認しており、他のモンスーン諸国で降水量と収量の間強い相関関係が観測されている (e. g. Yoshino and Suppiah, 1983, 1984, and Domroes et. al. 1997) ことから、降水量の増加傾向がもっとも明瞭な要因であると考えられる。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

ラオスにおける降水量の空間的・季節的特徴およびENSOの影響を要因分析モデルにより調べた。その結果、降水量からみた最も適切な季節区分は、(1) 雨期 [5月～9月]、(2) 中間期 [10月～11月]、(3) 乾期 [12月～2月] であることを明らかにした。降水量の空間的・季節的変動に対するENSOの影響を解析した結果、多くの地帯でENSO年には降水量が有意に少ない傾向が認められた。降水量と米収量の間有意な正相関があり、焼畑地帯であるルアンプラバンでは4月～5月の降水量と米収量の間特に強い相関関係 (0.1%レベルで $r=0.94$ 有意) が見られた。北部山岳地帯では、米収量は1990年～2000年を通して多くの県で有意な増加トレンドを示し、これは降水量の増加トレンドと一致した。ENSOの地域降水量に対する影響、ならびに地域降水量の稲生産性に対する影響を明確にした。

### (2) 地球環境政策への貢献

本課題は、国際的な温暖化対策に係る「土地利用変化および森林変化 (LULUCF)」の問題に対してメソスケールの気候現象との関係において基本的な情報を提供するもので、現在、気候学会や関連学術誌へ投稿中であり、これらを通じた成果の広報・普及に努める。

## 6. 引用文献

- (1) Domroes, M., Gunadasa, J.M. and Ranatunge, E., 1998. Intra-Seasonal Rainfall and the yield of Paddy under Rainfed Farming in Sri Lanka. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 142, 2, 105-114.
- (2) Fukai, S. and Basnayake, J. 2001. Increased low land rice production in the Mekong Region. *Proceedings of the international workshop, Vientiane, Laos*. Edited by Fukai, S. and Basnayake, J. Australian Centre for International Agricultural Research.
- (3) Jöreskog, K.G., Sörbom, D., du Toit, S., du Toit, M., 2000. LISREL 8: New Statistical

Features. Scientific Software International, Lincolnwood, Illinois, USA, 247 pp.

- (4) Kendall, M., Ord J.K. 1990. Time series, 3rd edition. Edward Arnold.
- (5) Sisouphanthong, S. and Taillard, C. 2000. Atlas of Laos: spatial structures of the economic and social development of the Lao people's democratic republic. NIAS Publishing, Nordic Institute of Asian Studies, Copenhagen and Silkorm Books, Chiang Mai, Thailand.
- (6) Malmgren, A.B, Hulugalla, R. Hayashi, Y, and takehito Mikami, 2003. Precipitation trends in Sri Lanka since the 1870s and relationships to El Nino-Southern Oscillation. Int. J. Climatol. 23, 1235-1252.
- (7) Yoshino, M. M. and Suppiah, R. 1983: Climate and paddy production in A study on selective districts in Sri Lanka. Climate notes, 33, 33-55.
- (8) Yoshino, M. M. and Suppiah, R. 1984: Rainfall and paddy production in Sri Lanka. J. Agric. Met. Japan, 40 (1) 9-20.
- (9) Zubair, L. 2002. El Nino-Southern Oscillation Influences on Rice Production in Sri Lanka. Int. J. climatol., 22:249-260.

#### 7. 国際共同研究等の状況

ラオス人民民主共和国・国立農林業研究センター(NAFRI)、Dr. Bounthon Bouahom (所長) および Dr. Linkham Douangsavah (研究室長) ; 本研究プロジェクトの推進のために農業環境技術研究所とのMOUを締結。本課題に関しては特に気候データや収量データ等情報の提供・研究協力等を行っている。

#### 8. 研究成果の発表状況

##### (1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) B.A. Malmgren, R. Ranatunge, G. Lindeberg, Y. Inoue, Y. Hayashi, T. Mikami: Theoretical and Applied Climatology, 89, 115-125 (2007) "Oscillatory behavior of monsoon rainfall over Sri Lanka during the late 19th and 20th centuries and its relationships t SSTs in the Indian Ocean and ENSO".

<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

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) R. Ranatunge: EFF Research Report 2003, 31-40 (2003) "Relationship of mesoscale climate change with local meteorological conditions and rice production in Indo-china peninsular"
- 2) R. Ranatunge: EFF Research Report 2004, 1-15 (2004) "Influences of ENSO on Spatial and Seasonal Rainfall and Rice Production in Laos"

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) R. Ranatunge: The Summer Seminar on “Climatology and Environmental Geography” , Tokyo Metropolitan University, (2005) “A statistical analysis of precipitation regimes over Laos” .
- 2) R. Ranatunge, Y. Inoue, T. Mikami: International Conference on Humid Tropical Ecosystems. Dec.4-9 2006, Kandy, Sri Lanka (2006) “Precipitation changes in humid tropical mountainous ecosystems in Laos and their impacts on slash and burn rice cultivation”
- 3) R. Ranatunge, Y. Inoue, T. Mikami: 日本地理学会秋季学術大会 (2006) “Analysis of the influence of ENSO on regional and seasonal rainfall in Laos”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

なし