

## カンボジア低地常緑林流域における気象要素の年々変動・季節変動について

延廣竜彦 (森林総研)・清水晃・壁谷直記 (森林総研九州)・玉井幸治・飯田真一 (森林総研)

キーワード: カンボジア, 低地常緑林, 森林微気象, 変動特性

## I はじめに

インドシナ半島は夏季アジアモンスーンの影響圏にあり、雨季・乾季という明確な気候的特性を有することが知られている。本報告で対象としたカンボジアにおいては、近隣諸国と同様に違法伐採や択伐などの影響による森林面積の減少傾向が認められるものの(7)、比較的多くの天然林が山岳地域のみならず低地域にも現存しているという特徴を持つ。従ってこれらの森林から得られる様々な情報はインドシナ半島全域における水資源などの森林資源管理政策策定にあたり、有用な情報となりうる。

本報告に先立ち、著者らはカンボジア中央部に位置する低地乾燥常緑林において、森林流域における水循環過程を明らかにするため流域試験地を設定し、低地常緑林流域における降雨-流出特性(1)、低地森林域における降雨特性(4)、低地常緑林における蒸発散特性(3)など、森林地域における水資源・水循環に関わる知見を集積してきた。また、流域試験地内外では植生、土壌などの詳細な調査も行われており(5, 8)、カンボジアを含むメコン川流域の森林環境に関わる科学的知見が集積されつつある。

本報告では、カンボジア中央部の低地乾燥常緑林流域内に設置した森林微気象観測タワーにおいて、2004年から2008年に観測された森林微気象データを解析し、その年々変動・季節変動について検討を行った。

## II 試験地の概要および観測方法について

本報告ではカンボジア国中央部、コンボントム州内の低地乾燥常緑林地域に位置するO Thom I流域試験地で得られたデータを元に解析を行った。

流域北東部の平坦地に60 m高の森林微気象観測タワー(12°44'N, 105°28'E, 標高88 m地点)を設置し、2003年10月から予備的な観測を行い、同年12月から森林微気象観測を開始した。

雨量計(RG-2M, Onset)ならびに短波放射計(CM3, Kipp & Zonen)は気象観測タワー最上部である60m高に

設置した。樹冠より上層に位置する高度34mに設置した通風乾湿球温度計(MH-020T, 英弘精機)により得られたデータを元に、気温ならびに飽差を算出した。また、高度36mに設置した風速計(03001, Young)から得た風速データを本報告の解析に用いた。各気象データは10分ごとに平均値もしくは積算値としてデータロガー(CR10X, Campbell)に収録した。

本報告で対象とする解析期間は2004年から2008年の5年間とした。データロガーや観測機器の不調によりデータが得られなかった期間については欠測とし、本報告の解析からは除外した。

## III 結果と考察

1. 降水量 始めに、図-1に降水量の季節変化を示す。図中の太線は月降水量の5年平均値、破線は標準偏差、白抜きのポイントは月降水量を示す。黒のポイントは欠測を含んでいることを示しており、月降水量の5年平均値・標準偏差を求める際には計算から除外した。なお、これ以降の気象要素解析についても降水量と同様に、ロガーや測器の不調などにより全てのデータが欠測となった月については平均値・標準偏差の計算からは除外している。

インドシナ半島では一般に5月中旬から10月中旬までが平均的な雨季の期間とされている(2)。本観測地点で得られた2004年から2008年の月降水量観測結果によると、雨季と考えられる5月から10月にかけての降水量は、全ての観測年において年降水量に対して80%以上の割合を占めていた。また、乾季前半から半ばにあたる12月から1月には降雨がほとんど認められなかったが、プレモンスーン期にあたる4月には100 mmを上回る降水量が観測された年もあった。なお、本研究では、11月から翌年4月までを乾季、5月から10月までを雨季として取り扱うこととした。

次に、降水量の年々変動について検討を行う。降水量の変動傾向を月単位で検討したところ、2004年9月から

Tatsuhiko NOBUHIRO (Forestry and Forest Products Research Institute, Matsunosato 1, Tsukuba Ibaraki 305-8687), Akira SHIMIZU, Naoki KABEYA (KYUSHU RESEARCH CENTER, Forestry and Forest Products Research Institute), Koji TAMAI, Shin'ichi IIDA (Forestry and Forest Products Research Institute)

Study of annual and seasonal variation in meteorological factors in lowland dry evergreen forest, Cambodia

2005年5月にかけて、5年平均値より少ない降水量が続けて観測された(期間-1)。また、2007年5月から11月にかけて月降水量が5年平均値より多い期間が続いていたことが分かる(期間-2)。

**2. 短波放射量** 図-2に本試験地における南中高度の季節変化ならびに短波放射量の季節変動を示す。短波放射量は乾季に高く雨季に低い季節変動を示す傾向が認められた。5年平均値の変動では、乾季末にあたる4月に最大を示し、雨季後半の9月に最小を示していた。最大値(2008年3月:  $20.7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )と最小値(2005年9月:  $14.9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )の差は大きかったものの、2004年から2008年にかけての乾季、雨季の平均値はそれぞれ18.9、17.7 ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )であり、乾季と同程度からやや少ない程度の放射量が雨季の期間にも供給されていたと考えられた。これは、雨季であっても日中の降雨頻度が少なく、降雨の大半は夕方から夜半にかけて発生していることや、無降雨日も多かったこと(4)が原因と考えられた。また、南中高度の季節変化も一因であると推察された。本試験地の北緯は $12^{\circ}44'$ であり、北回帰線より赤道側に位置しているため、図-2(a)に示すように南中高度は4月と8月、年に二回のピークを持つ。一般に日短波放射量の最大値は太陽の南中高度に大きく依存していることから、雨季であっても晴天日には乾季と同程度の日射量が期待されるためである。

次に、短波放射量の標準偏差について季節変化の検討を行なったところ、9月(雨季後半)から12月(乾季前半)にかけて標準偏差の幅が大きくなっていった。これは雨季開始日の年々変動が比較的小さいことに対して、雨季の終了時期は年々変動が大きいことから(6)、雨季後半から乾季前半までの期間では、雨季終了日の年々変動とそれに伴う降雨や雲の有無の影響により、月平均短波放射量の変動幅・標準偏差が大きくなったと推察された。

観測年ごとの短波放射量について検討を行ったところ、2004年9月から2005年5月にかけて、時には標準偏差を上回るような短波放射量が大きい期間が続いており、5年平均値に対して100%から113%の短波放射量が供給されていた(期間平均では105%)。この期間は図-1で示した月降水量が少ない期間-1と一致していた。これに対して、2007年5月から11月にかけては、短波放射量が少ない期間が続いており、期間-2と対応していた。期間-2では、5年平均値の89%~98%の短波放射量であった(期間平均では95%)。

**3. 気温** 図-3は34m高度で観測された気温の季節変動を示す。5年平均値について検討したところ、乾季前半は年間を通して最も気温が低く、乾季後半に近づくに

つれて気温は上昇し、乾季末に最も高い気温を記録した。雨季が開始すると気温は低下し、雨季の期間中には気温の変動幅が小さくなった。気温のこのような季節的変動は全ての観測年において確認された。

次に観測年ごとの気温を比較したところ、雨季後半にあたる2004年9月から雨季初期の2005年5月にかけて、標準偏差を上回る高い気温が観測された。図-2で示したようにこの期間の短波放射量は平均値を上回っており、短波放射量が大きかった期間-1と高温であった期間は一致していた。同様に、短波放射量が少なかった2007年5月から11月(期間-2)についても検討したところ、気温は平均より概ね低い値を示していた。また、月ごとの短波放射量と気温を比較したところ、雨季で $R^2=0.47$ 、乾季で $R^2=0.58$ の正の相関が認められた(図-4)。

**4. 飽差** 図-5は34m高度で観測された温度・湿度から算出した飽差の季節変動を示す。5年平均値の変動を検討したところ、3月(乾季後半)に最も高く、9月(雨季後半)に最も低くなる明瞭な季節変動を示していた。飽差のこのような季節的変動は全ての観測年で認められた。月平均飽差の最大値は2005年3月(17.2 hPa)、最小値は2005年9月(3.5 hPa)に観測された。なお、雨季の平均飽差は6.4 hPaであり、乾季平均は12.0 hPaであった。

このような飽差の季節変化について他の気象要素と比較したところ、月降水量と負の相関(図-6:  $R^2=0.60$ )、短波放射量と正の相関が認められた(図-7:  $R^2=0.57$ )。短波放射量が大きく気温が高い期間-1、短波放射量が小さく気温が低い期間-2に対して、期間-1では飽差は5年平均値より大きく、期間-2では5年平均値より小さかった。

**5. 風速** 図-8は36m高度での月平均風速観測値の季節変動を示す。5年平均値の変動を見ると、雨季半ばの9月と乾季前半の12月にピークが認められた。しかしながら、標準偏差の幅は年間を通して同程度であり、標準偏差を上回る風速観測値が季節・観測年を問わず多く認められた。これらの結果から、風速については年々変動より季節変動が明瞭であると考えられた。

## 引用文献

- (1) KABEYA, N., SHIMIZU, A., Nobuhiro, T., and Tamai, K. (2007) Preliminary study of flow regimes and stream water residence times in multi-scale forested watersheds of central Cambodia. *Paddy and Water Environment* : 6, 25-35.
- (2) MATSUMOTO, J. (1997) Seasonal transition of summer rainy season over Indochina and adjacent

- monsoon region. *Advances in Atmospheric Sciences* : 14, 231-245.
- (3) NOBUHIRO, T., SHIMIZU, A., KABEYA, N., TSUBOYAMA, Y., KUBOTA, T., ABE, T., ARAKI, M., TAMAI, K., Sophal, C., and Keth, N. (2007) Year-round observation of evapotranspiration in an evergreen broadleaf forest in Cambodia. In: Sawada H et al. (eds) *Forest Environments in the Mekong River Basin*. Springer, Tokyo, 75-86.
- (4) 延廣竜彦, 清水晃, 壁谷直記, 玉井幸治, 飯田真一, 清水貴範 (2010) カンボジア低地常緑林流域における降雨特性についての検討, *関東森林研究* : 61, 203-206.
- (5) OHNUKI, Y. KIMHEAN, C. SHINOMIYA, Y. and TORIYAMA, J. (2008) Distribution and characteristics of soil thickness and effects upon water storage in forested areas of Cambodia. *Hydrological Processes*, 22(9), 1272-1280.
- (6) ORGILL, M. (1967) Some aspects of the onset of the summer monsoon over South East Asia. Report to U. S. Army, Contract DA28-043-AMC-01303(E), Colorado State University, 75 pp.
- (7) SAVET, E. and SOKHUN, T. (2003) National forest policy review, Cambodia. In: P. B. Durst (ed) *An overview of forest policies in Asia*, FAO, Bangkok, 93-108.
- (8) TANI, A., ITO, E., KANZAKI, M., OHTA, S., KHORN, S., PITH, P., TITH, B., POL, S. and LIM, S. (2007) Principal forest types of three regions of Cambodia: Kampong Thom, Kratie, and Mondolkiri. In: Sawada H et al. (eds) *Forest Environments in the Mekong River Basin*. Springer, Tokyo, 201-213.

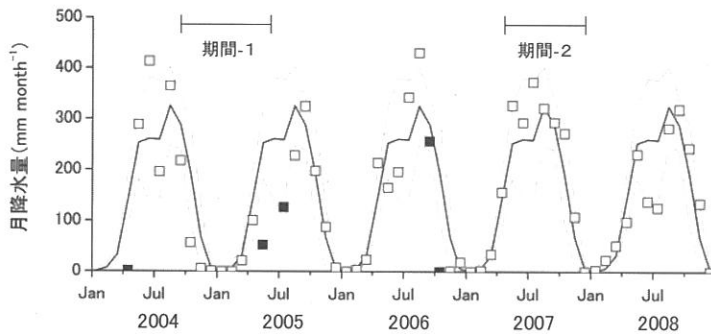


図-1 月降水量の季節変化  
 期間-1 : 2004年9月～2005年5月  
 期間-2 : 2007年5月～11月

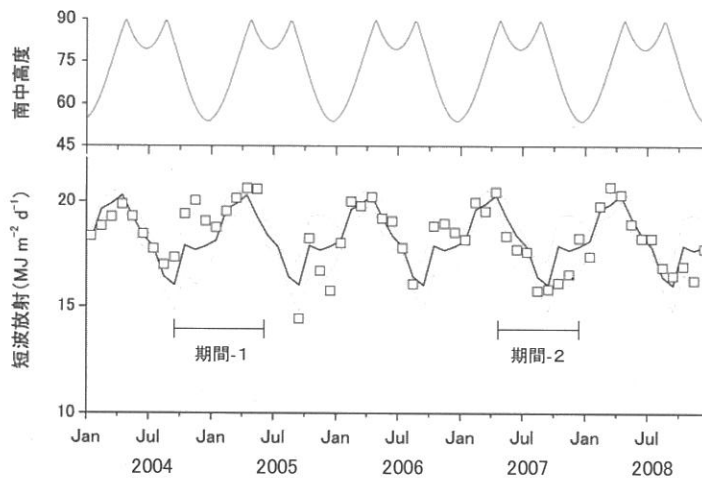


図-2 南中高度・短波放射量の季節変化

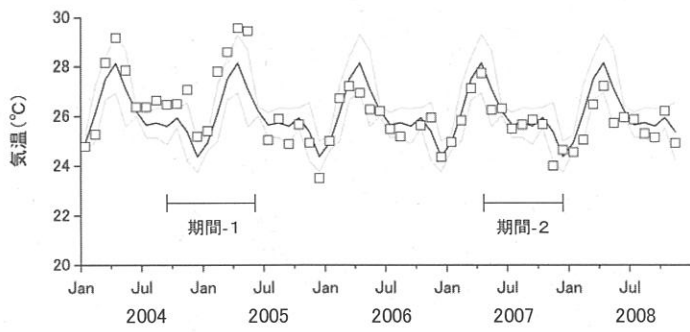


図-3 月平均気温の季節変化

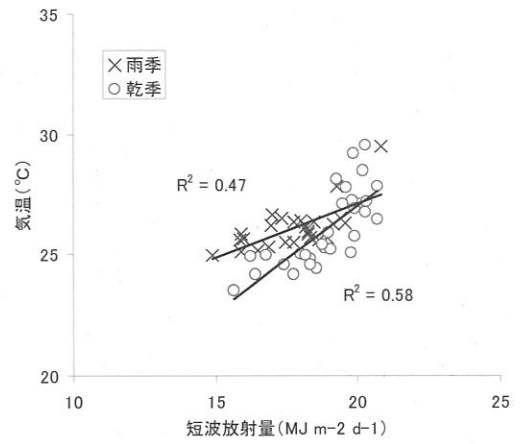


図-4 短波放射量, 月平均気温の関係

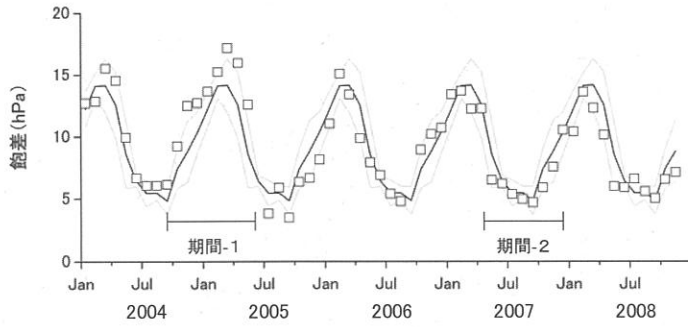


図-5 月平均飽差の季節変化

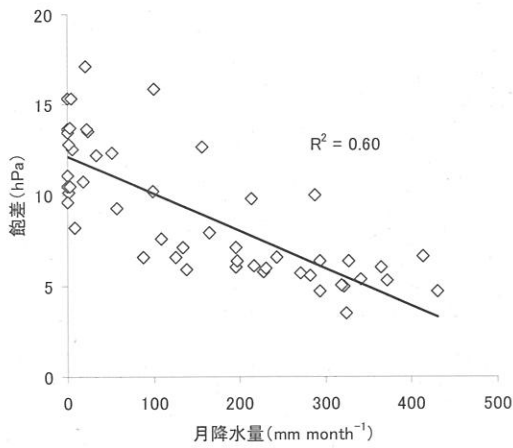


図-6 月降水量, 月平均飽差の関係

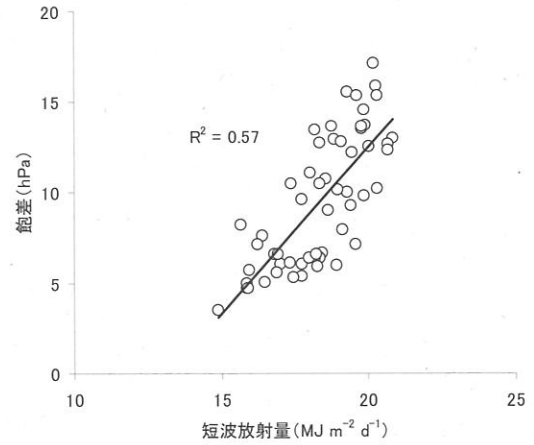


図-7 短波放射量, 月平均飽差の関係

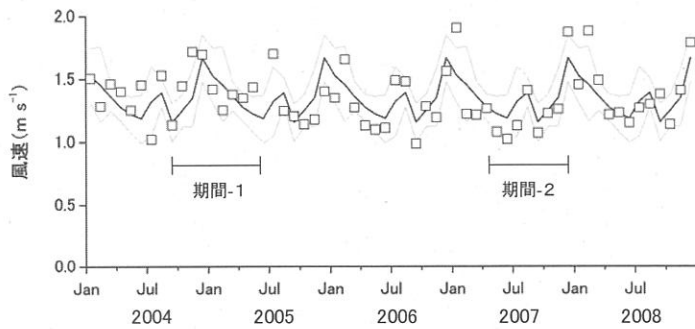


図-8 月平均風速の季節変化