

[論文]

ネパール・テライ低地中央部ナワルパラシにおける
全天日射量・降水量・蒸発量観測結果(2013年)

特に蒸発量観測値の有意性について

敬愛大学国際学部教授 敬愛大学国際学部非常勤講師 東北大学大学院教授

中村 圭三・松本 太・駒井 武

敬愛大学国際学部非常勤講師 敬愛大学総合地域研究所客員研究員 敬愛大学総合地域研究所客員研究員

松尾 宏・谷地 隆・大岡 健三

1 はじめに

ネパール南部のテライ Terai 低地においては、1999年に地下水のヒ素汚染が報告されて以来、これに関する調査研究が進められてきた。テライ低地中央部のナワルパラシ Nawalparasi は、最もヒ素汚染の深刻な地域であり、著者らは、2007年より当地域においてヒ素汚染調査を実施してきた (Nakamura et al., 2007 ; 中村ほか2008a, b, 2010)。2011年度からは、科研費海外学術調査補助金を得て本格的な調査に乗り出し、その一環として、2012年3月より、総合気象観測を開始した。その概要については中村ほか (2014) で報告してきたが、本稿では、地下水ヒ素汚染が深刻な調査地域の水収支を計算するために、特に重要な全天日射量・降水量・蒸発量に関する観測結果についてとりあげる。



図1 ネパールの調査地域

ネパールにおける全天日射量、蒸発量については、カトマンズ Kathmandu、ポカラ Pokhara の2地点で観測されているのみである。そのため、テライ低地における本調査結果は、非常に貴重なデータとなる。特に、蒸発量の直接観測には難しい面があり、本稿では、独自の蒸発計を用いて観測した値の妥当性について、低緯度地域の蒸発量の推定式として、最も信頼性が高い Penman (1948) の式による計算結果と比較検討し、その有意性についても検証した。

2 観測地域・観測方法

観測地点は、テライ低地中央部のナワルパラシ郡パラシ Parasi の東方 7km に位置するバルプリー（ピパラ）小学校の校庭の北西部（N27° 31′ 03″ E83° 44′ 06″、標高約 100 m）である。全天日射量は、英弘精機社製精密全天日射計（MS-801）、降水量は、大田計器製転倒ます型雨量計（OW-34-BP）で観測した。蒸発量については、この地点から北に約 2km のパタニ Patani において、地上 1m に設置した自作の蒸発計（直径 20cm）により、現地スタッフが毎日朝 8 時に観測した（写真 1）。



写真 1 バルプリー小学校の気象ステーション(左)、パタニの蒸発計(右)

3 観測結果

3.1 全天日射量

2012 年 3 月 6 日から 2014 年 3 月 3 日までの 2 年間、全天日射量の観測を実施した。ここでは 1 月 1 日から 12 月 31 日までの 1 年間の観測値が揃う、2013 年を研究対象とする。2013 年の大気外日射量と全天日射量との関係について、日別の年変化を図 2 に示す。この図によると、大気外日射量は、夏至の頃に極大値 40.9MJ/m^2 、冬至の頃に極小値 21.3MJ/m^2 となる年周期を示す。1 月から 3 月末頃までの全天日射量は、大気外日射量と並行して増加傾向にあるが、4 月から 9 月までは横ばいに転じる。6 月から 9 月にその振幅が増加するのは、この時期がモンスーン季にあたり、雨天・曇天日が増加することによる。10 月からのポストモンスーン季以降は、再び大気外日射量と並行した変化を示す。

大気外日射量と全天日射量との関係を、より把握しやすくするために、月別総日射量の

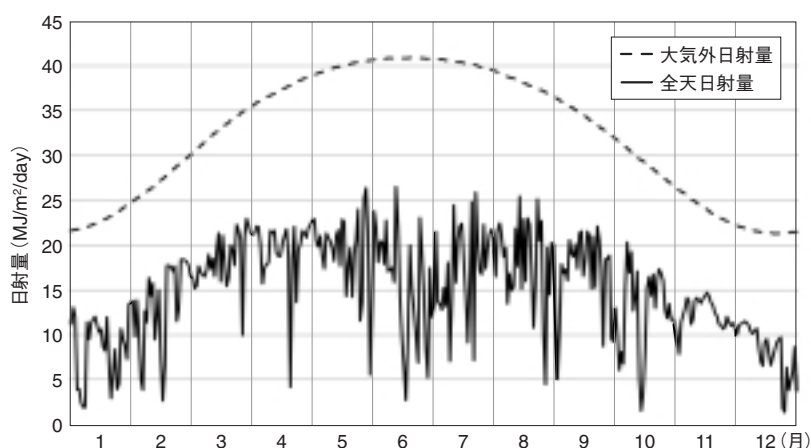


図2 バルプリ小学校における日別日射量の年変化(2013年)

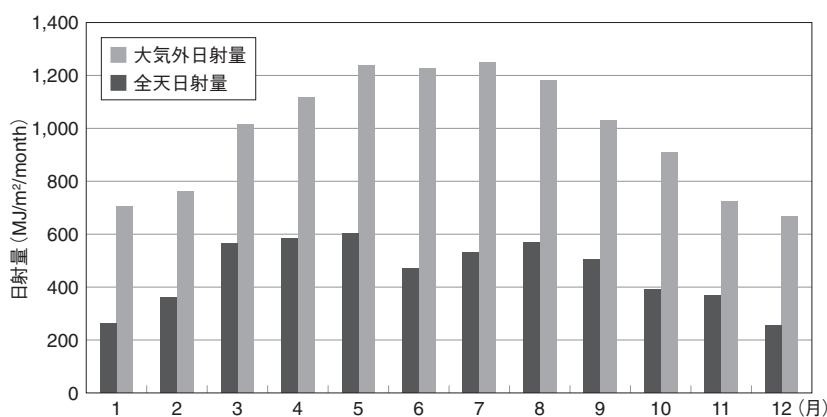


図3 バルプリ小学校における月別総日射量の年変化(2013年)

年変化を図3に示す。この図で、6月の大気外日射量が5月、7月よりも小さくなっているのは、6月の月日数が1日少ないためである。6月の全天日射量が、5月と比べて大きく減少しているのは、モンスーン季に入って雨天・曇天日が急増したことにより、7月の全天日射量も少なくなっている。

3.2 降水量と蒸発量

2013年の年降水量と年蒸発量は、それぞれ1,451mm、1,115mmである。月降水量と月蒸発量の年変化を、図4に示す。この図によると、主な降水は4月から9月までの6ヵ月間にあり、特にモンスーン季に当たる6月から9月までの4ヵ月間の降水量は、1,173mmで年間降水量の80.8%を占める。一方、蒸発量は、プレモンスーン季の3月から5月に高い値を示す。この期間は、図3の年間で最も全天日射量の多い期間と一致し、日最高気温が40℃近くまで達する日もある（図5）。またこの期間には、気温の上昇に伴い水蒸気圧が上昇するが、逆に相対湿度は40%付近まで減少し、年間で最も乾燥する（図6）。

6月からモンスーン季に入ると全天日射量が減少し、水蒸気圧と相対湿度が高い値を維持するため、蒸発量は減少する。10月以降のポストモンスーン季には降水はないが、全天日射量の減少と気温の低下のため、プレモンスーン季と比べて蒸発量は減少する。

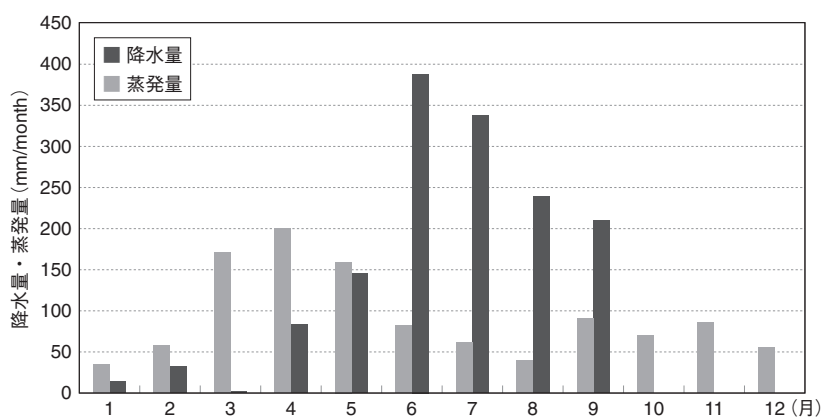


図4 バルプリ小学校における月降水量と蒸発量の年変化(2013年)

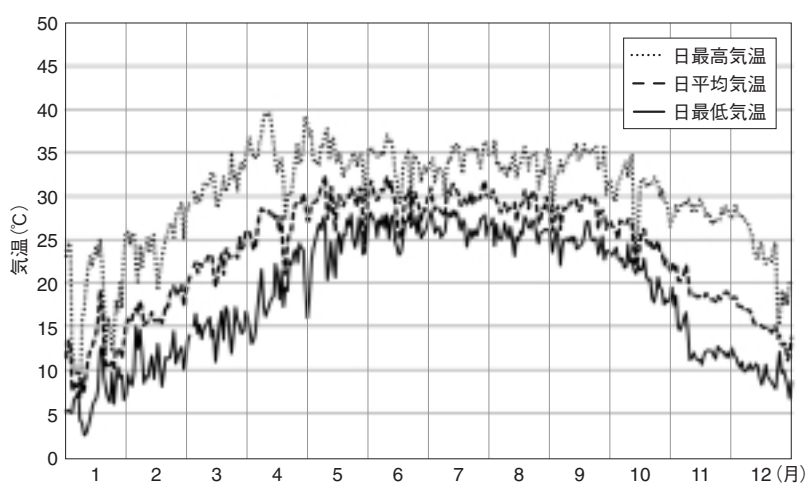


図5 バルプリ小学校における気温の年変化(2013年)

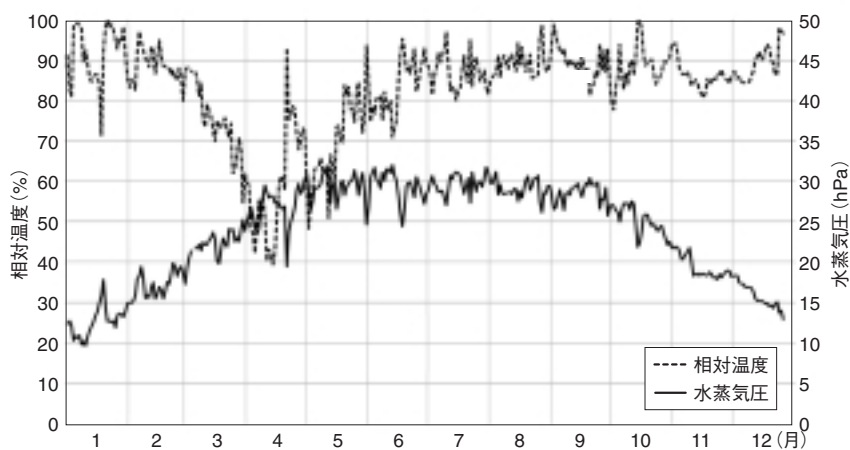


図6 バルプリ小学校における相対湿度(%)と水蒸気圧(hPa)の年変化(2013年)

3.3 蒸発量の実測値と計算値との比較

観測地域は亜熱帯気候帯に属し、周囲には水田が広がる。この地域において蒸発量の実測値と計算値との比較検討を試みた。

蒸発量の実測は、パタニ Patani の水田地帯に位置する農家で、母屋の南側の庭先において、地上1m高度に設置した直径20cmの自作のステンレス製蒸発計により観測した。蒸発計内の水位については、(株)安藤計器製工所製の直径20cm Pan (蒸発皿) 専用マスで、毎日朝8時に観測した。

蒸発量の計算方法としては、経験的手法によるソーンスウエイト法 (Thornthwaite, 1948) や、理論式と経験式を組み合わせたペンマン法 (Penman, 1948, 1963) などが良く知られている。低緯度地域 (シンガポール、マレーシアのクアラルンプール、コタバル) や、石垣島、鹿児島島の蒸発量について、Pan で測定した実測値と、Thornthwaite, Penman (1948), Fitzpatrick and Stern (1965), Swinbank (1963) のそれぞれの推定式による計算値とを比較した結果から、Penman (1948) の推定式による計算結果が、最も実測値に近い値を示したことが報告されている (榎根・小林 (1973))。

そこで、当地域における蒸発量 (E_0) を、下記の Penman (1948) の式から計算し、得られた結果と実測値のそれぞれの日別値について、その年変化を図7に示した。

$$E_0 = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] R_0 + \left[\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right] E_a$$

E_0 : 蒸発量 (mm/day), R_0 : 放射を表す項, $E_a = 0.26 (1 + 0.537u) (eTa - ea)$: 空気力学的な効果による蒸発を表す項, u : 風速 (m/s), T : 気温 ($^{\circ}\text{C}$), eTa : 気温 Ta $^{\circ}\text{C}$ の飽和水蒸気圧 (hPa), ea : 大気中の水蒸気圧 (hPa), $\Delta = de/dT$: 温度に対する飽和水蒸気圧の変化率 (hPa/ $^{\circ}\text{C}$), γ : 乾湿計定数 ($\text{CpP}/0.622 L$), Cp : 空気の定圧比熱 (1005 J/kg/K), P : 大気圧, L : 蒸発の潜熱

この図によると、5月中旬から9月上旬までのモンスーン季を除く期間については、実測値と計算値にはかなり良い相関が見られる。そこで、両者の関係をさらに詳細に調べてみると、モンスーン季以外では、両者間に高い相関 ($r = 0.87$) が認められる (図8)。一方モンスーン季には、両者間の相関は、ほとんど認められなかった ($r = 0.04$)。

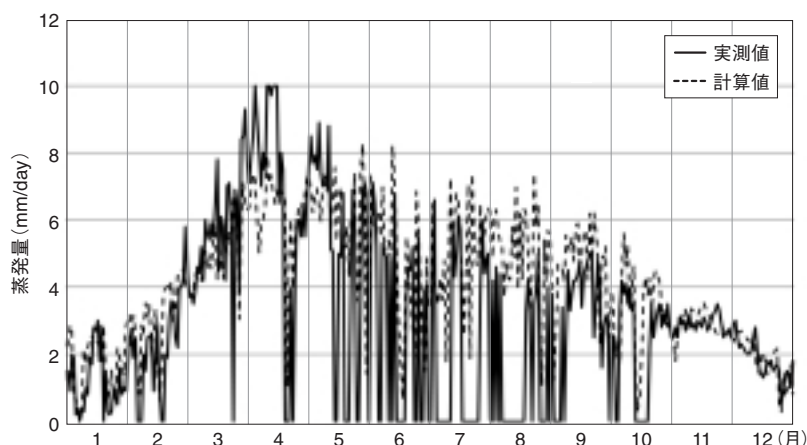


図7 バルブリー小学校における蒸発量の日別実測値と計算値との比較(2013年)

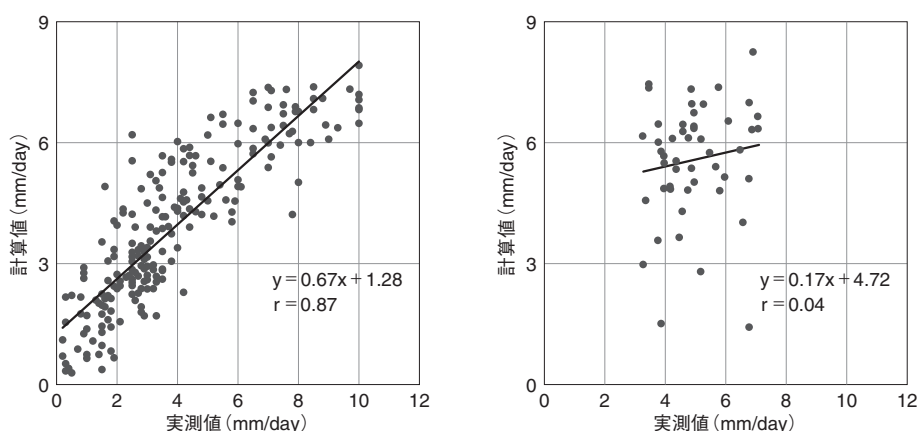


図8 蒸発量の実測値と計算値との比較

左：モンスーン季以外 右：モンスーン季

4 考察

蒸発量は、全天日射量、気温、水蒸気圧、相対湿度などによって決まる。全天日射量は冬至の頃に最少となるが、その後次第に夏至に向かって増加していく。気温は全天日射量よりも1ヵ月ほど遅れて上昇し始める。大気中の水蒸気圧も全天日射量の増加と気温の上昇に伴い増加していくが、相対湿度は逆に急減し乾燥化が進む。このような条件が揃い、蒸発量は3月以降増加する。6月にモンスーン季に入ると雨天・曇天日が多くなり、全天日射量の減少・気温の降下・相対湿度の上昇により、蒸発量は急減する。10月以降のポストモンスーン季には晴天が続き水蒸気圧は低下するが、相対湿度の高い値の持続、全天日射量の減少・気温の降下のため、蒸発量はプレモンスーン季の1/2以下にとどまる。蒸発量は、このような年変化を示す。

本研究における蒸発量は、地上1mに設置した直径20cmの自作のステンレス製蒸発計によって観測されたものである。この観測値の妥当性を検証するために、低緯度地域における蒸発量の推定式として最も適当と考えられるPenman (1948) の推定式による計算結果との相関を検討した。その結果、降水の有無により蒸発量の変動が激しいモンスーン季を除く期間においては、蒸発量の実測値と計算値との間に高い相関 ($r = 0.87$) が認められ、本研究で実施した蒸発量の観測は、妥当のものであったと判断された。

5 まとめ

本研究では、ネパール・テライ低地中央部のナワルパラシにおける、2013年の1年間にわたる全天日射量・降水量・蒸発量に関する観測結果について検討した。

その結果、得られた主な知見は、下記の通りである。

- (1) モンスーン季を除く期間の全天日射量は、大気外日射量と並行して推移する。
- (2) 3月から5月のプレモンスーン季に、蒸発量は高い値を示す。この高い値は、全天日射量の増加、気温の上昇、相対湿度の低下によってもたらされる。
- (3) 蒸発量の実測値と Penman (1948) の式より得られた値との間には、モンスーン季以外では、高い相関 ($r = 0.87$) が認められる。

このことから、本研究における蒸発量観測の妥当性と、得られた値の有意性が検証された。

〔謝 辞〕

本調査を進めるにあたって、現地スタッフのRamananda氏、Jit氏、バルブリ小学校の教職員の方々には多大なご協力をいただき、心より厚くお礼申し上げます。

本研究には、科学研究費補助金 基盤研究(B) 海外学術調査「ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染の実態とその対策に関する研究」研究代表者：中村圭三 研究課題番号23401006の一部を使用した。

(参考文献)

- 梶根勇・小林守 (1973)：モンスーンアジアの蒸発散量 ―とくにその気候学的推定法について―。吉野正敏編著『モンスーンアジアの水資源』所収, 55-70, 古今書院。
- 中村圭三・大岡健三・駒井武 (2008a)：ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査。環境情報研究, No. 16, 13-23。
- 中村圭三・大岡健三・Bhanu Bhakta Kandel (2008b)：ネパール・テライ低地の井戸水利用に関する実態調査。環境情報研究, No. 16, 25-33。
- 中村圭三・大岡健三・駒井武 (2010)：ネパール・テライ低地におけるヒ素汚染調査とその対策。環境情報研究, No. 17, 1-13。
- 中村圭三・松本太・濱田浩美・駒井武・大岡健三・谷地隆・松尾宏・谷口智雅・戸田真夏 (2014)：ネパール・テライ低地における気候環境調査。法政地理, No. 46, 17-24。
- Fitzpatrick, E. A., Stern, W. R. (1965): Components of radiation balance of irrigated plots in a day monsoonal environment. J. Appl. Meteor. 4, 649-660.
- Nakamura, K., Ooka, K. and Komai, T. (2007): The Drinking Water Quality in Four Physiographic Regions of Nepal and Arsenic Contaminated Groundwater in Terai, Lowland Nepal. Journal of Environmental Studies, No. 15, 53-70.
- Penman, H. L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc., London, A193, 120-145.
- Penman, H. L. (1963): Vegetation and hydrology. Tec. Comm. No. 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, 124p.
- Swinbank, W. C. (1963): Long-wave radiation from clear skies. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 89, 339-348.
- Thornthwaite, C. W. (1948): An approach toward rational classification of climate. Geogr. Rev., 38, 55-94.

なかむら・けいぞう Keizo Nakamura
まつもと・ふとし Futoshi Matsumoto
こまい・たけし Takeshi Komai
まつお・ひろし Hiroshi Matsuo
やち・たかし Takashi Yachi
おおおか・けんぞう Kenzo Ooka