

ネパールにおける大気混濁係数について

—パラシ, カトマンズ, ポカラにおける全天日射量からの評価—

中 村 圭 三*・三 谷 雅 肆**

要 旨

ネパールの3地点の全天日射量から大気混濁係数 β を得た。3地点は、インド北部に繋がるテライ低地(パラシ)、ネパール中間山地のカトマンズとポカラで、それぞれ、農耕地、大都市、リゾート都市としての特徴を持つ。各地点の β の推移は、季節的条件のみならず、それらの地点の地勢的条件により影響されることが考えられた。すなわち、プレモンスーン、モンスーン、ポストモンスーンの各季節と冬季の4区分の中で、各地点とエアロゾル発生源との地理的關係、および各地点に特有の風系や降水量などに応じた特徴的な β の推移が決まるものと推測された。

1. はじめに

ヒマラヤ山地は、地球の第三極とも呼ばれ、世界の気象に深く関係する。その南斜面には、ネパール、さらに南にはインド北部のヒンドスタン平野が広がる。ネパール南部を含むこの平野は、広大な農地のほか大小多数の都市や工業地域を有する世界的な人口集中域をなす。この地域には、ここを発生源とする都市大気汚染質、工場排煙、農業残渣の焼却煙、農耕地土壌粉塵等のほか、近接のタール砂漠や遠くはサハラ砂漠からのダスト等があるが、この多様なエアロゾルのヒマラヤ山地への流入とその放射強制力への影響が注目されている(Srivastava *et al.* 2012)。このことから、ヒンドスタン平野やヒマラヤ高地を中心に大気エアロゾルに関する調査研究が行われてきた(Shrestha *et al.* 2000 ; Carrico *et al.* 2003 ; Gautam *et al.* 2007 ; Ram *et al.* 2010)。

多様な大気汚染物質と、特異な地勢を示すこの广大

な地域(Srivastava *et al.* 2012)でのエアロゾルの動態を把握するため、衛星観測の方法も広く採られている。その観測結果の検証を含め、なお多くの地上観測も必要であり、例えば、まだ地上観測例の少ない上記両地域の間地域(テライ低地)での観測は重要である。

中村ほか(2014)は、このテライ低地(パラシ)における生活環境に関して、当地域の気象、および水環境等の調査を実施した。その際、2年間にわたり全天日射量を観測したが、ここでは、これと同時に観測したカトマンズの全天日射量、およびポカラ国際空港気象台から提供された同データにより、全天日射量から当該地域の大気混濁係数を得た。そして、気象学的にも地勢学的にも極めて特異なこの地域のエアロゾルの動態について、上記の多様なエアロゾルの種類と風系の季節的变化を想定して、観測された大気的光学的厚さや混濁係数の季節的变化に注目して考察した。

2. 観測, およびデータの整理

2.1 観測

観測地点を第1図に示す。ネパールの地形は、標高の低いほうから順に、テライ低地、シワリク丘陵、中間山地、高山岳地に区分される(松本・中村 2017)。観測地点は、テライ低地と中間山地に位置するが、これらの地点は、互いに100~200 kmの距離を隔て、それ

* (連絡責任著者) 敬愛大学国際学部。
knakamura@u-keiai.ac.jp

** 道都大学名誉教授。

—2017年5月18日受領—

—2017年10月29日受理—

らの高度は、インド国境に近いパラシの標高約100 m からカトマンズの約1300 m までに及ぶ。さらにその北側では、急激に高度を増して標高8000 m 級の巨峰に繋がる。観測地点について、その地理的概要のほか、各地点の地上風や降水量などの気候概況を第1表にまとめた。

日射は水平面全天日射を対象とし、その瞬間値を30

分間隔で観測した（ポカラは1時間間隔）。観測期間は、パラシとカトマンズが2012年3月から2014年3月までの2年間、ポカラが2013年2月から2014年1月までの1年間である。前者で使用した日射計は、精密全天日射計（英弘精機製 MS-801）である。

2.2 大気の光学的厚さの評価

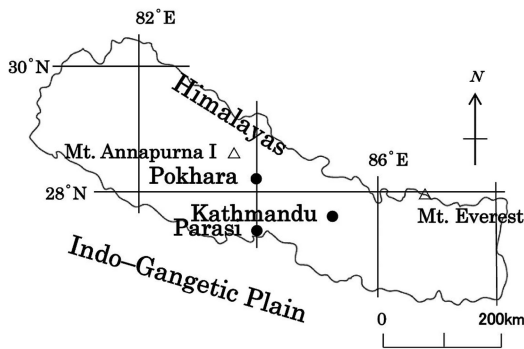
Kondratyev (1969) は、雲量ゼロのもとでの水平面全天日射量 G_H (kW/m^2) を次式で示した。

$$G_H = \frac{J_{N0} \sin h}{1 + \epsilon \tau_0 m} \tag{1}$$

ここで、 J_{N0} (kW/m^2) は大気外日射量、 h は太陽高度、 τ_0 は快晴時の大気の光学的厚さ、 m はエアマス、 ϵ は日射の消散に関する係数である。 τ_0 は全天日射の全波長にわたる平均値である。

m は観測点の標高を H として次式 (Duffie and Beckman 2013) で得た。 h は、度 (°) で表示する。

$$m = \frac{\exp(-0.0001184H)}{\sin h + 0.5057(6.080 + h)^{-1.634}} \tag{2}$$



第1図 ネパールにおける観測地点.

第1表 観測地点とその概要.

観測地点	パラシ	カトマンズ	ポカラ
位置	パルプリー小学校校庭. 27°31'03"N, 83°44'06"E. 標高 約100 m.	カトマンズ気象台構内. 27°41'35"N, 85°19'33"E. 標高 1336 m.	ポカラ国際空港気象台. 28°12'03"N, 83°58'55"E. 標高 827 m.
立地環境	テライ低地ナワルパラシ群パラシ (人口約1万人) 中心部より東7 km の農耕地域 (米作, 麦作の二毛作). 土壌粉塵, バイオマスや農業残渣の焼却排煙がある.	ヒマラヤ山脈南麓中間山地, カトマンズ (人口約100万人) 市街地 (バーバル・マハル地区). 都市大気汚染のほか, 煉瓦工場排煙等による大気汚染が顕著.	ヒマラヤ山脈南麓中間山地, ポカラのペワ湖畔東部に立地 (人口約30万人). 観光リゾート都市, 盆地底. 清浄な大気環境.
周辺概況	北側約10 km に標高150-1500 m のシワリク丘陵が連なる. 南側, インド-ヒンドスタン平原に繋がる.	ネパール中央部に位置し, ヒマラヤ山脈 (北, 数10 km 以北) とシワリク丘陵の間に位置する盆地底.	ヒマラヤ山脈 (北, 約10 km 以北) とシワリク丘陵の間に立地. 北面にアンナプルナ連峰, マナスル山等がある.
風向	3-9月 E-S, 10-2月 SSE-WSW.*	年間 SSW-WNW (9-2月 W が卓越).**	年間 E.**
風速	3-9月 1-2 m/s, 10-2月 <0.5 m/s.*	年間 2.5-3.5 m/s.**	年間 2-3 m/s.**
風系	北面シワリク丘陵との間で山谷風が想定される.	北面ヒマラヤ高地との間で山谷風が, 冬季には接地逆転層が想定される.	北面ヒマラヤ高地との間で山谷風が, 冬季には接地逆転層が想定される.
気温***	年較差 15.7°C (14.9-30.6°C) #.	年較差 13.5°C (10.8-24.3°C).	年較差 12.7°C (13.4-26.1°C).
降水量***	年降水量 約1700 mm #.	年降水量 約1500 mm.	年降水量 約3900 mm.

* 2012-2013の観測値 (松本, 中村 2017), ** 3/2013-9/2017, 7 am-7 pm の観測値 (Windfinder.com 2017a, b), *** 1981-2010年平年値 (Department of Hydrology and Meteorology (Nepal), 2017), # パラシ近接の Bhairahawa (27°31'N, 83°26'E) の値 (Department of Hydrology and Meteorology (Nepal),

本研究では見かけの大気の光学的厚さ τ_{app} を定義して、式(1)を次のように表す。

$$G_H = J_{N_0} \cdot \sinh \cdot \exp(-\tau_{app} m) \quad (3)$$

式(1)と式(3)から τ_0 は次のようになる。

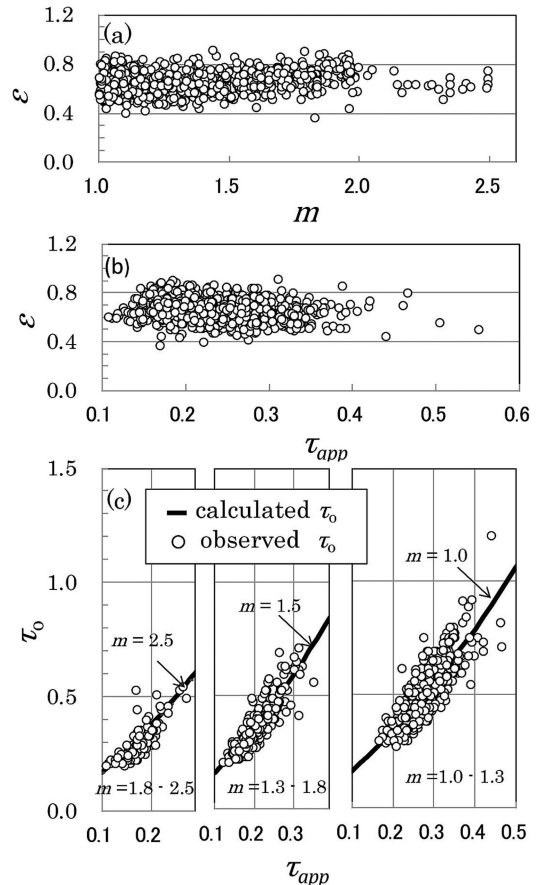
$$\tau_0 = \frac{\exp(\tau_{app} m) - 1}{\epsilon m} \quad (4)$$

中村・三谷 (2011) は、正午における既知の大気透過率 $P (=e^{-\tau_0})$ と G_H から式(1)を検証し、 $\epsilon = 0.68$ として日本各地の G_H の評価が可能であることを報告した。ここでは、 $P > 0.5$ ($\tau_0 < 0.69$) であったが、ネパールでは、それを超える τ_0 も想定され、ここで改めて式(1)、あるいは式(4)の妥当性を検証した。このとき、札幌、館野、福岡、石垣島における1991年から2016年(館野は1991~2008年)にかけての日射観測データを選んだが、正午の雲量がゼロである日の選択とその時点の τ_{app} の評価には気象庁(2016a)の全天日射に関するデータ集を、同時点の τ_0 の評価には同じく気象庁(2016b)の直達日射に関するデータ集を、それぞれ使用した。

ここで、正午の雲量ゼロの判定は、前報(中村・三谷 2011)に倣って、正午(真太陽時)を挟む9時と12時、あるいは、12時と15時、それぞれの2時刻において、雲量がゼロとなる日を選んだ。なお、全天日射量と直達日射量は、ともに1時間積算値であったが、これを単純に時間で除して、平均の瞬間値とした。このことに問題のないことを、得られた直達日射量の平均瞬間値と前報(中村・三谷 2011)で収集したその瞬間値(観測値)とを比較して確認した。

以上の検証では、1991年6月のピナツボ火山噴火以降、94年までの春季にしばしば観測された福岡での比較的高い τ_0 (0.7~1.1)、および、シベリア森林火災(Kaneyasu *et al.* 2007)の影響と考えられる2003年5月23日の札幌における $\tau_0 = 1.4$ や福岡における $\tau_0 = 1.2$ の観測結果も含まれる。これらのことなどによって τ_0 の0.2~1.4で式(4)を検証することができた。

第2図の(a), (b), (c)は、以上の式(4)の検証結果である。(a)および(b)から、式(4)の ϵ が m や τ_{app} に依存せず、定数となることがわかる。 τ_0 の実測値と推定値との間の誤差 RMSE は、式(4)で $\epsilon = 0.64$ としたとき、0.064と最小値を示したため、 ϵ に対してこの値を採用することとした。第2図(c)から、 m のとり得る範囲で式(4)は妥当であると判断した。



第2図 式(4)の検証。(a) ϵ と m の関係。(b) ϵ と τ_{app} の関係。(c) 式(4)と観測データとの比較。

式(1)は、単一散乱アルベドを1として得られている(Kondratyev 1969)が、都市部や農業残渣の焼却からのエアロゾルには煤も含まれ、日射の消散に対する吸収の効果が増すと考えられる。 ϵ は、単に式(4)で τ_0 と τ_{app} とを結ぶ補正係数と考えた。日本各地を対象として得られた ϵ が、他の地域でも有効であるかを検討する必要があるが、前述したように地域的にも季節的にも、また、火山など特異な条件の下など、多様な条件下で ϵ は得られており、これが年間を通じてネパールでも適応できると考え、 τ_0 を評価することとした。

雲量がゼロと判断される条件の下での全天日射量から τ_{app} を得て、これから式(4)により τ_0 を求めることとしたが、ここで雲量は観測されておらず、その雲量ゼロの判定が必要となる。これは、1日の全天日射量

の変化が式(1)で表せることを確認することによって行った。

先ず、 G_H の観測データから全天日射量変動曲線を描き、その正午の G_H を式(3)、さらに式(4)に適用して仮の τ_0 を得る。これから式(1)によって日射の日変化曲線を得て、これを観測されたものと比較、両曲線が一致したとみなせたとき、得られた τ_0 を雲量ゼロの正午の値と考えた。式(1)の ε が正午の全天日射量をもとに得られている点や時間帯によって日射量の値が大きく異なることなどを考慮し、その両曲線の一致の条件は、時間帯によって次のように決めることとした。すなわち、9時から15時の30分おき(ポカラは1時間おき)の各時刻において、観測値 G_H の式(1)からの偏倚が平均 $\pm 5\%$ 以下、最大 $\pm 8\%$ 以下にあり(条件を満たした各解析対象日での実際は、パラシで、それぞれ、 $1\sim 3\%$ (\pm 値で以下同じ)と $2\sim 8\%$;カトマンズで $1\sim 4\%$ と $3\sim 8\%$;ポカラで $0\sim 3\%$ と

$1\sim 8\%$ にあり)、その中で10時から14時でのその偏倚が平均 3% 以下(同、パラシで $1\sim 3\%$;カトマンズで $1\sim 3\%$;ポカラで $0\sim 2\%$)、11時から13時では最大 5% 以下(同、パラシで $1\sim 5\%$;カトマンズで $1\sim 5\%$;ポカラで $0\sim 3\%$)であることとした。雲量ゼロの日の全天日射量の日変化曲線が、終日、式(1)に一致することは、事前に日射量や雲量が知られている東京や福岡のデータ(気象庁 2016a)を用いて確認した。

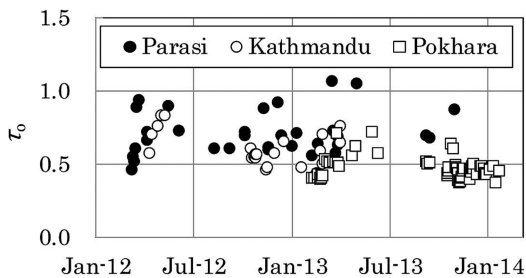
3. 結果と考察

第3図にはネパール各地で評価された τ_0 を、それらの2年間の推移で示した。 τ_0 は、著しく変動するが、特に、パラシにおいてそうであり、その値も3地点のなかで最も大きい。

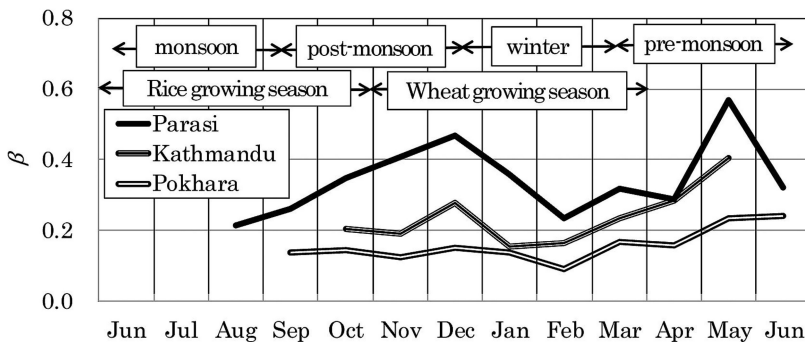
大気汚染状況を評価するにあたり、 τ_0 から空気分子や水蒸気などによる消散効果を除いた大気混濁因子の決定が望まれる。Yamamoto *et al.* (1968)は、そのようなエアロゾルのみを考慮した混濁係数 β を定義し、 τ_0 からこれを評価する方法を示した。中村・三谷(2011)は、この方法によって関東地方の6地点における全天日射量から、20年に及ぶ β の推移を得たが、ここでもこの方法をとることとした。

月平均の β を季節的变化として第4図に示し、それを得た際のデータ数も同図に記した。快晴日数のバラツキが大きいものの β の季節的变化の傾向を知ることが可能と考えた。同図にはパラシでの風速と風向、気温、降水量等の観測結果から決定された季節区分(中村ほか 2014; 松本・中村 2017)のほか、輪作される稲と小麦の耕作期間(Gupta *et al.* 2004)も示した。得られた β の年間推移を説明しながら、この地域のエアロゾルの動態について以下に考察する。

モンスーン季に入ると快晴日は激減し、 β の評価回数が減ったが、パラシやポカラの8月、9月の β は、かなり低い水準にあることがわかる。エアロゾルの降水による洗浄効果が多く報告されている(Shrestha



第3図 快晴日正午の光学的厚さ τ_0 の推移。
Jan-12は2012年1月を表す。



The number of datum on each point of β

	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	sum
Parasi	1	0	1	3	2	4	2	2	2	11	2	2	32
Kathmandu	0	0	0	0	8	7	3	1	2	2	5	3	31
Pokhara	2	0	0	3	5	15	13	6	8	8	2	1	63

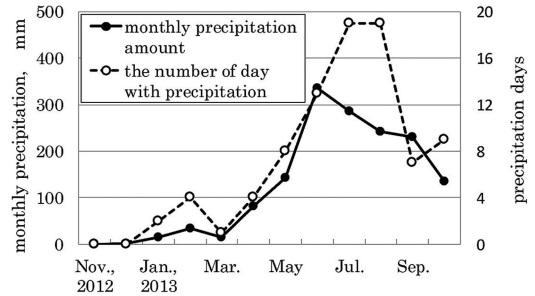
第4図 大気混濁係数 β の季節的推移。

et al. 2000 ; Carrico *et al.* 2003 ; Dey *et al.* 2004 ; Ram *et al.* 2010 ; Srivastava *et al.* 2012) が, ここでもその効果を考えよう. パラシでの本観測において, 2012年9月から翌年11月までの間, 転倒ます型雨量計による連日の降水量を得たが, それから月間降水量と月間の降水回数(日降水量1 mm以上の降水日数)の推移を得て第5図に示した. カトマンズとポカラについても, 各気象台より降水量データを入手し, パラシと同様な結果を確認した. すなわち, 極端な少雨から多雨への季節変化が明確で, それに応じて Shrestha *et al.* (2000) や Srivastava *et al.* (2012) の指摘するエアロゾルの大気中への蓄積から降水による沈着への遷移が想像される.

ポストモンスーン季では, エアロゾルの降水洗浄の減少 (Shrestha *et al.* 2000), カトマンズの大気汚染 (Panday and Prinn 2009), その近郊に増加する煉瓦工場の排煙 (Deshar 2014), さらには, ヒンドスタン平野の稲作残渣の焼却 (Gupta *et al.* 2004 ; Vadrevu *et al.* 2011) などが知られ, これらによって多量のエアロゾルの大気中での蓄積が予想される. 本研究に並行して行われた観測 (中村ほか 2014 ; 松本・中村 2017) によれば, この季節の風速は, パラシで0.25 m/s以下と極端に低下しており, このことも大気中へのエアロゾルの蓄積を助長することになると考えられる. 以上により第4図に見られるこの季節の β の増加が首肯される.

この季節, カトマンズでは西寄りの風が卓越するが, その風力は弱く (Windfinder.com 2017a), パラシの場合と同様, 域内汚染質の蓄積や, 卓越する西寄りの風によるヒンドスタン平野からの汚染質の流入も検討しなければならない. 一方, ポカラの場合, β は低く推移し, 特に, 増加はしていない. この地では, 年間を通じて夜間を除く時間帯で南西の風が卓越することが過去4年間の統計から示されている (Windfinder.com 2017b). これには, この地の北東背面の山岳域との間の循環風が考えられ, さらにこの地に顕著なエアロゾルの発生源がないことを考慮すれば, β の低い推移も首肯される. ポストモンスーン季の β の推移に関し, 以上の3地点で様とはならなかった要因の一つとして, 地形による地上風の風向の違いも推察される.

冬季に入るとパラシでは農業残渣の焼却処理が終わり, 北側のシワリク山地との間で, 昼間には南西の風が, 夜間には北の風が, それぞれ卓越する循環風を形



第5図 パラシにおける月降水量と日降水量1 mm以上の月間降水日数の年間推移.

成し (中村ほか 2014), その下で β は急激に低下している. その後, プレモンスーン季にかけては冬季とは異なり昼間に南東の風が卓越, 風速も1~2 m/s (中村ほか 2014) に増すが, そこで β は上昇に転じている.

Shrestha *et al.* (2000) は, ヒマラヤ高地とその麓の中間山地での観測から, エアロゾル濃度の季節的変動がこの地域の大気循環系の変動に関係することを確認し, プレモンスーン季の高いエアロゾル濃度をこの地域の谷風によるものとし, またその一方で, ヒマラヤ高地のエアロゾル濃度がその麓での値より高かったことを確認し, これを地上風のほかに大気上層の西風の影響とした. この季節の大気上層の西風は, タール砂漠やサハラ砂漠からの土壌粉塵の遠距離輸送の原因とされている (Carrico *et al.* 2003 ; Gautam *et al.* 2007).

以上を第4図に見られるプレモンスーン季における β の上昇の要因と考えるとき, すなわち, 地上風による近接のヒンドスタン平野からのエアロゾルに加え, 遠距離輸送されるダストの流入を検討するとき, 当該地域のより詳細な風系の解析のほか, エアロゾルの種類や形態に関するデータが欠かせない. この点は, 明らかではなく, 今後の課題としたい.

4. おわりに

2012年3月から約2年間にわたって, ネパール南部低地から中間山地に立地する形態の異なる3地点, すなわち, 低地にあって農業の盛んなパラシ, 標高約1300 mの盆地底に位置する大都市カトマンズ, そして, 山と湖を有するリゾート地のポカラ, それぞれにおいて, 全天日射量から大気の大気混濁係数 β を評価し, その季節的推移を検討した. その結果, β は, 各地点

で特徴的な推移をとり、広域の季節的条件ばかりでなく、各地点の地勢的条件下での風の影響が考えられた。

モンスーン季には、降水による大気の洗浄効果が考えられたが、ポストモンスーン季には、パラシでは稲作残渣の焼却により、また、カトマンズでは都市大気の汚染によって、大気のアロゾルの蓄積が想起された。冬季に入ると β の急激な低下が認められ、山風などの地上風の影響が考えられた。プレモンスーン季には地点を問わず β の漸増が認められ、当該地域の風系との関係で注目すべきであると考えられた。

謝 辞

本研究は、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の一部として実施された。

カトマンズ気象台における全天日射計の設置や気象データの提供、およびポカラ国際空港気象台における気象データの提供、これらに関してはネパール水文気象台 Ramchandra Karki 氏に、また、パラシでの気象観測に当たってはパルプリ小学校の教職員の方々に、それぞれ、多大なご協力を頂きました。心より厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- Carrico, C. M., M. H. Bergin, A. B. Shrestha, J. E. Dibb, L. Gomes and J. M. Harris, 2003: The importance of carbon and mineral dust to seasonal aerosol properties in the Nepal Himalaya. *Atmos. Environ.*, **37**, 2811-2824.
- Department of Hydrology and Meteorology (Nepal), 2017: Climate Normals. 4pp, <http://www.dhm.gov.np/climate/> (2017.10.13閲覧).
- Deshar, B. D., 2014: Impact analysis on economic issues and environmental destruction in Nepal. Chapter 5: Brick factories in Kathmandu Valley and its impact on environment and economy. 立正大学, 博士(経済学)論文, 経博甲第13号, 65-76. http://repository.ris.ac.jp/dspace/bitstream/11266/5314/4/A13_text.pdf (2017.10.13閲覧).
- Dey, S., S. N. Tripathi, R. P. Singh and B. N. Holben, 2004: Influence of dust storms on the aerosol optical properties over the Indo-Gangetic basin. *J. Geophys. Res.*, **109**, D20211, doi:10.1029/2004JD004924.
- Duffie, J. A. and W. A. Beckman, 2013: *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.). Wiley, 9-10.
- Gautam, R., N. C. Hsu, M. Kafatos and S. C. Tsay, 2007: Influences of winter haze on fog/low cloud over the Indo-Gangetic plains. *J. Geophys. Res.*, **112**, D05207, doi:10.1029/2005JD007036.
- Gupta, P. K., S. Sahai, N. Singh, C. K. Dixit, D. P. Singh, C. Sharma, M. K. Tiwari, R. K. Gupta and S. C. Garg, 2004: Residue burning in rice-wheat cropping system: Causes and implications. *Curr. Sci.*, **87**, 1713-1717.
- Kaneyasu, N., Y. Igarashi, Y. Sawa, H. Takahashi, H. Takada, H. Kumata and R. Holler, 2007: Chemical and optical properties of 2003 Siberian forest fire smoke observed at the summit of Mt. Fuji, Japan. *J. Geophys. Res.*, **112**, D13214, doi:10.1029/2007/JD008544.
- 気象庁, 2016a: 過去の気象データ検索. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2017.10.13閲覧).
- 気象庁, 2016b: 日射・赤外放射に関するデータ集. http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/radiation/data_rad.html (2017.10.13閲覧).
- Kondratyev, K. Ya., 1969: *Radiation in the Atmosphere*. Academic Press, 203-206, 380-381, 463-464.
- 松本 太, 中村圭三, 2017: ネパール・テライ低地における住宅の温熱環境. *地理学評論*, **90**, 215-229.
- 中村圭三, 三谷雅肆, 2011: 関東地方における大気混濁係数の推移について—全天日射量からの評価の試み—. *天気*, **58**, 855-864.
- 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*, **46**, 17-24.
- Panday, A. K. and R. G. Prinn, 2009: Diurnal cycle of air pollution in the Kathmandu Valley, Nepal: Observations. *J. Geophys. Res.*, **114**, D09305, doi: 10.1029/2008JD009777.
- Ram, K., M. M. Sarin and P. Hegde, 2010: Long-term record of aerosol optical properties and chemical composition from a high-altitude site (Monora Peak) in Central Himalaya. *Atmos. Chem. Phys.*, **10**, 11791-11803.
- Shrestha, A. B., C. P. Wake, J. E. Dibb, P. A. Mayewski, S. I. Whitlow, G. R. Carmichael and M. Fern, 2000: Seasonal variations in aerosol concentrations and compositions in the Nepal Himalaya. *Atmos. Environ.*, **34**, 3349-3363.
- Srivastava, A. K., S. Dey and S. N. Tripathi, 2012: Aerosol characteristics over the Indo-Gangetic Basin: Implications to regional climate. *Atmospheric Aerosol - Regional Characteristics - Chemistry and*

- Physics. Chapter 3, InTech, 47-80, <http://dx.doi.org/10.5772/47782>.
- Vadrevu, K. P., E. Ellicott, K. V. S. Badarinath and E. Vermote, 2011 : MODIS derived fire characteristics and aerosol optical depth variations during the agricultural residue burning season, north India. *Environ. Pollut.*, **159**, 1560-1569.
- Windfinder.com, 2017a : Wind & weather statistics, Kathmandu airport, Wind statistics. https://www.windfinder.com/windstatistics/kathmandu_airport (2017.10.13閲覧).
- Windfinder.com, 2017b: Wind & weather statistics, Pokhara Airport, Wind statistics, https://www.windfinder.com/windstatistics/pokhara_airport (2017.10.13閲覧).
- Yamamoto, G., M. Tanaka and K. Arao, 1968: Hemispherical distribution of turbidity coefficient as estimated from direct solar radiation measurements. *J. Meteor. Soc. Japan*, **46**, 287-300.

Atmospheric Turbidity Coefficient in Nepal Estimated from Global Solar Radiation at Parasi, Kathmandu and Pokhara

Keizo NAKAMURA* and Masashi MITANI**

* (Corresponding author) Faculty of International Studies, Keiai University, Anagawa 1-5-21, Inage-ku, Chiba, 263-8588, Japan.

** Honorary Professor, Dohto University.

(Received 18 May 2017; Accepted 29 October 2017)

Abstract

The values of atmospheric optical depth on three sites in Nepal were derived from observations of global solar radiation from 2012 to 2014, and then the aerosol turbidity coefficients β were evaluated from the values. One of these sites is Parasi located in Terai Belt of Indo-Gangetic Plain, and other two sites are Kathmandu, the capital city of Nepal, and Pokhara, the typical resort area of Nepal.

It is considered that the variations of β in these sites are attributed not only to regional aspects but also to seasonal conditions in these sites. For instance, the characteristic variations of β are found in the sites depending on precipitation and wind system in the each season, that is, pre-monsoon, monsoon, post-monsoon and winter.
