

ヒマラヤ周辺の降水量の定量評価 —気候値の作成—

谷田貝亜紀代

総合地球環境学研究所

はじめに

IPCC^{1,2)} は、温暖化により山岳の雪氷による水供給が減少し、世界人口の6分の1以上の居住地における水の利用可能性が減少すると予測した。とりわけ南アジアの人口密集地域は、ヒマラヤ山系の雪氷水資源やヒマラヤ南斜面の山岳降水に依存している。また、雪氷水資源は水河湖決壊洪水の恐れもあり、災害リスク評価も含め、ヒマラヤ周辺への温暖化の影響評価が喫緊の課題となっている。

温暖化影響評価を含む地域環境への気候変動の影響を評価するためには、全球的な気候変動に伴い地域の気象がどのように変化するかといった気候モデルを用いる研究と、地域の気象、水、生態、社会環境の現地調査による診断研究が必要であることは広く認識されている。地域の環境問題に取り組むプロジェクトでは、どちらかというと後者の必要から、対象地域の気象観測も行われることが多い。一方、近年の高解像度化した気候変化予測を地域の環境問題に適用するなど前者の必要性から、たとえば河川流域といった対象地域より広域を対象とした観測データ整備の必要性が認識されるようになった。特に降水量について、河川上流を含む流域全体のデータが必要であることは論を待たないが、気候モデルのシミュレーション結果の検証や、観測データによる統計ダウンスケーリングや補正を行う際には、国や流域を超える対象地域での検証データが必要となる場合が多い。

ヒマラヤ山脈は急峻な山岳地域であり、降水表現のモデルによる表現が難しい地域である。最近の高解像度モデルは質的には古くから知られたヒマラヤ山脈に沿った2本の降雨帯³⁾などを表現できるようになってきたが⁴⁾、広く用いられている再解析データや予報では、降雨帯の位置がずれたり⁵⁾、量的には現実とかけはなれたと考えられるものもある。そこで亜熱帯モンスーン地域では特

に、予報モデルから算出される降水分布を、現実の観測値をもとにした経験則により補正する場合がある^{6,7)}。このように、気候モデルの検証や、予報の後処理 (post-process) に、定量性に優れた観測データはなくてはならないものである。

近年では人口衛星から降水量の推定がなされるようになり、海陸昼夜を問わず時間・空間分解能の高い推定がなされるようになった。しかし陸域では定量性の点で、雨量計が存在すれば、直接観測であるため精度が高くなる。そのため衛星を主とする様々なアルゴリズムによるデータセットであっても、その質はどれだけ雨量計による観測値が含まれるかに依存するとされる^{8,9)}。

衛星による推定のうち、1997年12月に観測を開始した熱帯降雨観測衛星 (TRMM) に搭載されたレーダ (PR) は、それまでの赤外センサや受動マイクロ波観測による推定とは異なり、レーダのため陸域の降水分布を日変化を含めて明らかにしてきた。しかし、定量的には過少評価をしていることが報告されている⁵⁾。

そこで、本研究では、10年以上の観測のある TRMM/PR により、それまでの報告よりもサンプリングバイアスを減らした、ヒマラヤ地域の月降水量の気候値的分布を提示し、さらに雨量計による月降水量気候値との比較結果を提示する。本研究は、ヒマラヤ域の降水量の気候値を作成する途上にあるものである。気候値は、日降水量データセットの補正に用いられることがあり^{10,11)}、気候変動予測をするために必要な気候モデルの検証のためだけでなく、将来的により高い時間分解能のデータを作成するためにも基本となるものである。

使用データと処理

熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 降雨レーダ (PR)

TRMM/PR の標準プロダクトである PR2A25 の

ver.6に含まれる、near-surface rain rateと定義された、地上付近の降雨レート (mm/hr) データを用いた。1997年12月から開始し現在まで11年の観測が継続しているが、ここでは、1998年1月から2007年12月までの10年間の観測値を用いた。TRMM/PRのフットプリントとよばれる観測エリアサイズは約4.2km四方で、約220kmの観測幅の中に49ピンほぼ同時に観測しつつ、太陽非同期軌道で南緯36度から北緯36度の間を、1日に16周(パス)している。1ヶ月約480パスのデータが得られるが、このうち対象地域として定義する緯度20°N-36°N、経度70°E-105°Eに含まれるデータを、フットプリントサイズに近い0.05度のグリッドセル(0.05度の経度緯度に囲まれた領域)に含まれるデータごとに月平均した。こうして10年分、すなわち120ヶ月の平均降水量を計算した後、各月ごとに10年平均値を計算し、TRMM/PRによる各月降水量気候値とした(本研究でPR-climと呼ぶ)。

雨量計データ

現在総合地球環境学研究所と気象庁気象研究所では、環境省の受託研究「アジアの水資源への温暖化影響評価のための日降水量グリッドデータの作成」を行っている。(英語名: APHRODITE's Water Resources (Asian Precipitation-Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources)。この目的のため、執筆者らはアジアの各国から日降水量観測値を収集している。先行研究¹¹⁾は日降水量グリッドデータの地形性降水の表現のため、地形を補正した気候値¹⁰⁾を中国およびモンゴルについて用いている。このように日降水量データが得られない場合に月降水量値がデータの向上に役立つと考えられることから、我々は日降水量観測値だけでなく月降水量、月降水量気候値データも収集している。これら収集データと品質チェックの状況から、本研究では、以下のデータを用いた。

1. Global Historical Climatology Network (GHCN) version-2¹²⁾
2. A monthly temperature and precipitation database compiled by the Food and Agriculture Organization (FAO)
3. A monthly temperature and precipitation database

compiled by the ASEAN Compendium of Climatic Statistics project

4. Daily precipitation data from each meteorological organization (APHRODITE プロジェクト収集データ)

4. について、我々は対象地域に含まれる国では、パキスタン、インド、ネパール、バングラデシュ、中国、ブータン、ミャンマーのデータを入手している。

これら収集データのうち1951年以降2007年までのものを使用し、日降水量データであれば月降水量として積算した。TRMM/PRと同じ領域およびグリッドセルごとに、月降水量の値を計算した。同じグリッドセルに含まれる地点が2点以上存在する場合は、単純平均を行い、地点が存在しない場合は欠測扱いとした。各年、各月の0.05度平均値を計算した後、対象期間の平均値を各月ごとに計算した。ここではデータの収集状況と、TRMM/PRが10年平均であることを踏まえ、10年分以上の観測データが存在するグリッドセルのみを対象とした。この0.05度グリッドセルの雨量計による気候値を、本研究ではRG-climと呼ぶ。

図1に、対象地域の地形(標高)と、RG-climに使用した地点をプロットした。先行研究^{4,11)}で気候値グリッドデータを作成する際に使用した雨量計データ(GHCNと中国オフラインデータ)を赤でプロットしている。本研究では、インド、バングラデシュ、ブータン、ネパール、ミャンマー、パキスタンでデータが飛躍的に増えている。なお特に断らない限り、本研究での統計解析対象範囲は、この図1に含まれる地域、地点を基本とする。

TRMM/PRによる気候値(PR-clim)

図2は、TRMM/PRによる月降水量気候値(PR-clim)を計算した後、年降水量を計算したものである。雨量計による気候値と高分解能の気候モデルによるシミュレーション結果を比較した際に⁴⁾、ヒマラヤ山脈の南側斜面の強い降雨帯が、標高250mから4,800mの間に見られたため、ここでもその両レベルの等高線を記した。また比較のため範囲やカラーバーも先行研究^{4,13)}と揃えている。

TRMMは北緯35度～南緯35度を周回するため、対象地域では、北緯34度付近は非常に観測頻度が高く、1日2回以上観測している。10年間

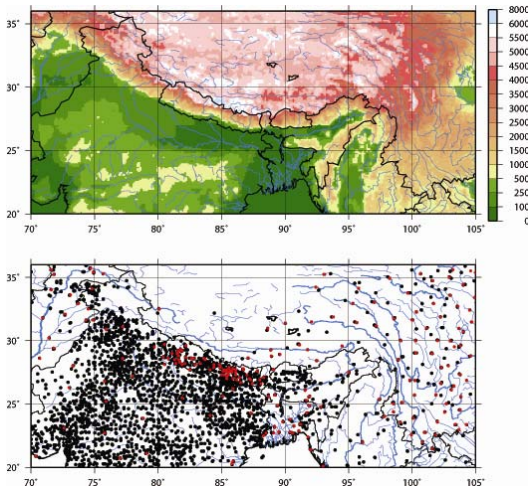


図1 地形 (標高) (上図) と、本研究で用いた雨量計分布の位置 (下図)。国境を黒線、河川を青線で示す。上図の単位 (標高) はm。下図のドット (黒・赤) は本研究で用いた10年以上の観測データがある雨量計の位置。赤ドットは、先行研究^{4,11)}の気候値作成時にも用いた地点。

TRMM/PR 10-year composite

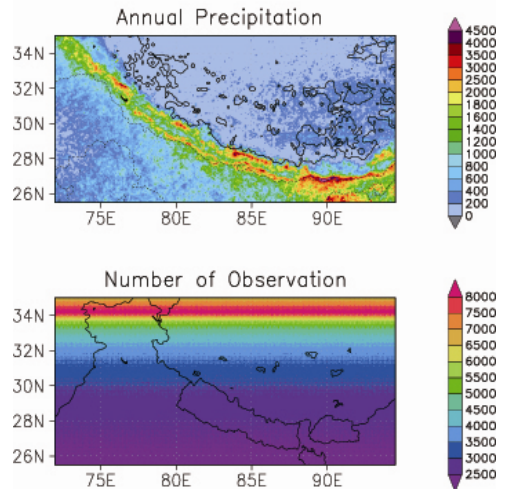


図2 (上) TRMM/PRによるnear-surface rainの10年平均値。オリジナルデータの単位 (mm/h) を、年降水量 (mm/year) に換算したもので示す。黒太実線と、黒細点線はそれぞれ、4800mと250mの等高線を表す。(下) 上図の計算に用いられた観測回数。黒実線は国境を表す。

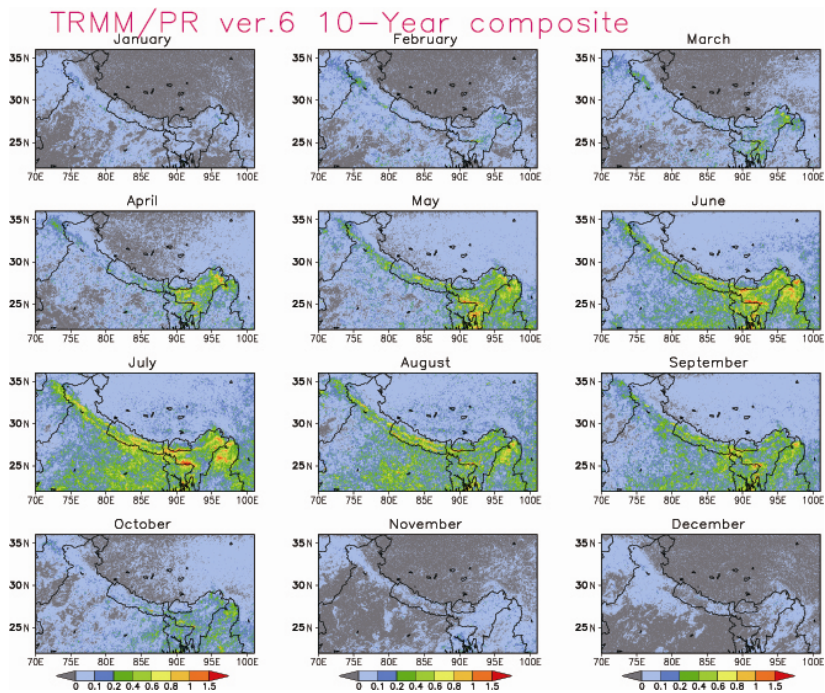


図3 TRMM/PRによる各月のnear-surface rainの10年平均値 (単位: mm/h)。1mm/hは、約720mm/月に相当する。黒実線は国境を表す。

(3652日)のうちの有効なサンプル数を図1下に示したが、32度以北はほぼ1日一回の観測がある。またヒマラヤ山脈全体、幸運なことに観測頻度が高い。

年降水量値で、明らかに2本の降雨帯が77°E～87.5°Eに見られる。ブータン付近では一本となるが値が非常に高くなっている。ネパールで明瞭に見られるものは、レッサーヒマラヤと呼ばれる標高の比較的低い前山(foothills)の手前(南側)に降っているものと、北側のグレートヒマラヤの前面で降っているものである。インドでは、その前山はマハーバーラト山脈として存在し、77°E以東には2本の降雨帯が観測されるが、ブータン付近には、前山がなく急斜面であるため、1本のバンドとなっている。図1(上)で91°E/25°N付近に極大が見られるが、これはアッサム(シロン)地方のものである。

この合成図は、同地域の過去の報告例と特性は一致するが、10年分の合成、また0.05度という細かいグリッドでの平均により、きわめて安定的で明瞭に山岳に沿った強い降雨帯を表現できたと言える。これまでの数年分の合成図の報告では、年降水量や季節平均降水量の議論が中心であったが、10年の観測の蓄積と、上述のように比較的サンプリング頻度の高い地域であることから、次に各月ごとの合成図を示そう。

図3は、各月のPR-climを示す(紙面の都合上、図1の解析対象範囲より狭めたものを表示)。PRの降雨レートで1時間あたり1mmは、約720mm/月の降水量に相当する。各月ともヒマラヤの南側の明瞭な降雨帯は観測されている。年降水量の図に示されたヒマラヤに沿う2本の降雨帯は、月降水パターンでは8月を除き明瞭ではないこれは各月の気象条件が異なり降水の極大の出現する場所が異なるためであると考えられる。TRMM/PRはサンプリングバイアスが大きく、仮に1ヶ月の平均では、1日のうちのある時間帯(たとえば明け方、日中、夕方、夜間)に偏ることがあるため、比較的少ない年数の月平均であれば、平均値に使用した時間帯に注意すべきである。しかしここでは10年分の平均を行っており、今回は日変化パターンのバイアスが出現したとは考えにくい。今後雨量計による観測値との比較をさらに行っていく際に改めて注意することとしたい。

冬季(11-3月)は、相対的にヒマラヤ西部(インド北部)に相対的に降水量が多く、その北側のラダック地域(インド最北部)からチベット高原中央部分は大変乾燥している。春にチベット高原東部、インド東部の降水量は増加していく。水蒸気輸送の季節進行の場を合わせてみると興味深い、別の機会に示すことにする。初夏からインドの夏の南西モンスーンの時期に非常に強い降水がアッサム、シロン付近(5°N, 90°-92°E)とブータンの南、ミャンマー北部(27°-28°N, 96°E)に見られる。

各月のパターンは、これまで雨量計が疎な地域や他の衛星ではっきりしなかった降雨帯の構造を明らかにし、さらにTRMM/PRの数年の合成図に残されていたサンプリングバイアスをきわめて減らしていることが分かる¹⁴⁻¹⁶。量的にPRの過少評価は各方面から指摘されているが、Yatagai and Xie⁵では、ヒマラヤや他のアジアモンスーン地域で夏の雨季はPRが過小評価しているが冬季の差は小さいことが指摘されている。雨/雪や降雨タイプによるレーダの観測値の違い、雨量計も降雪時の捕捉率の問題があることなどから季節ごとのRG-climとPR-climの比較は必要である。雨量計による気候値(RG-clim)と、PRによる気候値(PR-clim)の比較や補正は月ごとに行う。

雨量計による気候値(RG-clim)

図4は、図1に示した地点データを簡単なShepard¹⁷の手法により内挿し、年降水量としたものである。対象地域の地形と10年以上のデータが存在する雨量計位置をプロットしたものである。先行研究の気候値分布(Yatagai et al.⁴ Fig. 2、supplementsやYatagai and Kawamoto¹³ Fig.1)に比べて、ブータンやミャンマー北部の地形に沿った降雨帯は、よりシャープに表現され、PR-climにも類似し、雨量計を足した効果が表れている。一方で、図4のヒマラヤの北側に染み出したように見える降水のやや周囲より多いところ(82°E, 30°N; 85°E, 29°N付近)はチベット西部に観測地点がないため、外挿されてしまった値である。またチベット高原中央部に円弧上に見えるところ(85-90°E, 28-36°N)は、今回の解析では半径400km以内に雨量計がない場合は内挿しないという処理をしているため、臨界地域で円弧上の見せ

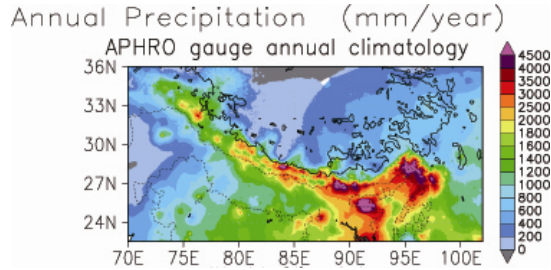


図4 図1下図に示した地点降水量を内挿することにより計算された気候値。

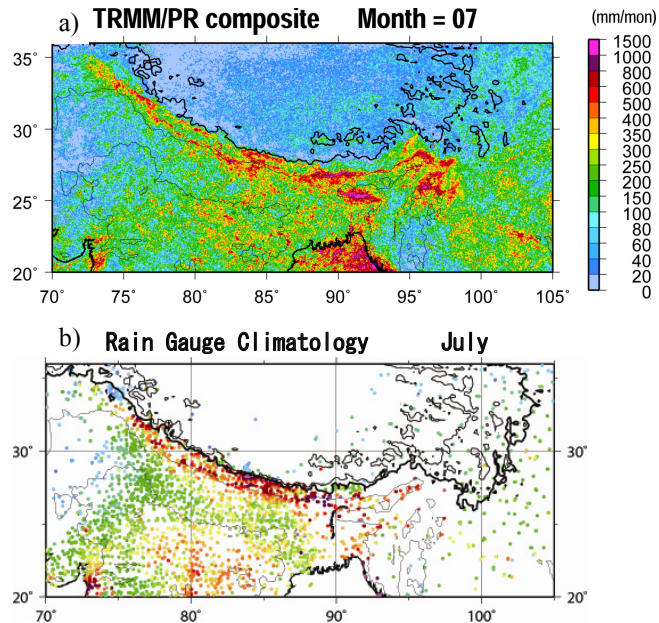


図5 7月における、a) TRMM/PR 気候値 (PR-clim) と b) 雨量計気候値 (RG-clim)。カースケールは同じ。a) の等高線は 4,800m (太実線) と 250m (細実線)。b) の等高線は 4,800m (太実線) と 250m (細実線) に加え、チベット高原を表すため 3,000m (極太線) を加えている。b) は 0.05 度グリッドセルに有効な値が存在する場合のセルの位置をプロットしたが、ドットを見やすくするため、実際の 0.05 度セルが占める領域よりは広い範囲をドットのカラーは占める。

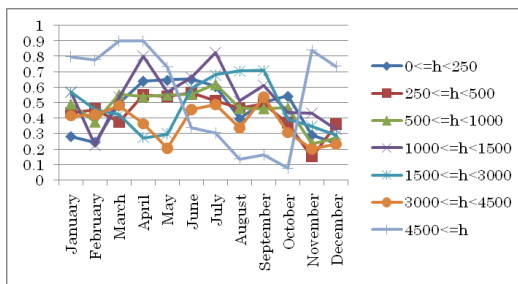


図6 各標高帯における、PR-clim と RG-clim の相関係数。

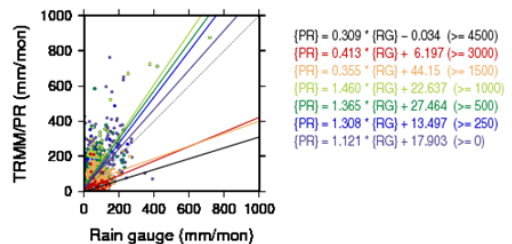


図7 4月における RG-clim と PR-clim の散布図、および回帰式。色は標高帯を表す。

かけのパターンが出現してしまっている。先行研究では、中国はDaly et al.¹⁰⁾の気候値に量的に調整したため、チベット高原上で不自然な分布は出現していない。

図4で示したものは、先行研究やPR-climとの視覚的な比較のため、RG-climに用いられた地点を内挿したものである。上記のように内外挿みかけの値が入るため、次節で述べる比較にはRG-clim、すなわち0.05度グリッドセルで雨量計値を平均したものをを用いる。

TRMM/PR気候値(PR-clim)と雨量計気候値(RG-clim)の比較

上述のように、PR-climとRG-climは、同じ範囲(70-105°E, 20-36°N)の同じサイズのグリッドセル(0.05度×0.05度)に整理されている。一例を図5に示す。解析対象範囲には、224,000個の対象セルがありPR-climはこのすべてのセルで計算されているが、RG-climが得られるのは、2695セルである。よって統計的比較は、サンプル数2695の、RG-climが得られるセルについて行う。

表1は、各月についてPR-climとRG-climの平均値の差、および2,695サンプルについての相関係数をまとめたものである。相関係数は、RG-

climが得られるセルによる空間相関を見ていることになる。PR-climは、7, 8, 9月について、かなり過少評価しており、その差は各月の降水量の28-38%となっている。一方、2, 3, 4, 5月は、PRが過大評価している。6-8月のTRMM/PRの過少評価についてはすでに報告したが⁵⁾、ここでは、7-9月に大きな差が見られる。この違いは、解析対象地域の違いと、本研究は気候値により比較しているのに対し先のは1998年の値について比較したこと、また先のは内挿値であった、という違いがある。ここでは気候値の解析に集中し、後ほど月ごとに、さらに標高ごとに違いを調べる。表1に示された相関係数は、夏季に高く冬季に低い。降雪の観測はレーダにとっても、雨量計にとっても精度が落ちるものである。本研究に用いたサンプル数からは一番低い12月でも統計的に有意な値となっている。

雨と雪の違い、降雨タイプの違いにより、PR-climとRG-climの関係も異なるとすれば、標高帯ごとに同様の統計をとることは、精度よい気候値作成のために有益と考えられる。たとえば年降水量で、強い2本、あるいは1本の降雨帯がヒマラヤ沿いに見られたこと、標高の特徴などを考慮し、7つの標高帯にわけて統計を取った。表2は、年降水量について標高帯ごとに、PR-climとRG-

表1 対象範囲(70-105°E, 20-36°N)の、雨量計気候値(RG-clim)の得られる2695セルについて、各月ごとにRG-climの平均、PR-climの平均、両者の差、RG-climを真値とした場合のPRの過少/過大評価のRG-climに対する割合。最右カラムは、RG-climとPR-climの相関係数。

	Rain Gauge (RG-clim)	TRMM/PR (PR-clim)	Difference (PR-RG)	Diff/RG (PR-RG)/RG	Correlation
January	18.5	13.1	-5.4	0.29	0.358
February	16.6	24.4	+7.8	0.47	0.306
March	24.1	30.9	+6.8	0.28	0.471
April	28.8	48.9	+20.0	0.69	0.631
May	58.3	88.4	+30.0	0.51	0.613
June	160.7	148.7	-12.0	0.07	0.643
July	312.0	209.3	-102.7	0.33	0.666
August	288.2	180.0	-108.6	0.38	0.503
September	184.8	133.7	-51.1	0.28	0.556
October	59.2	49.2	-10.0	0.17	0.506
November	10.8	8.6	-1.9	0.18	0.307
December	9.3	6.7	-2.7	0.28	0.276

clim の間の相関係数と一次回帰式の係数をまとめたものである。4,500m 以上と、1,000 ~ 1,500m の間で相対的に相関が低くなっている。これは空間相関を見ているため、たとえば対象地域内に降雨タイプの異なるものがあり PR-clim と RG-clim の見え方が異なるものがあれば、低い相関が出る可能性が高い。傾きについては、すべて 1 以下を示しており、年降水量では、すべての標高帯で PR-clim は RG-clim に対して過少評価している結果となった。PR-clim と RG-clim の散布図および回帰式のプロットも行ったが、ここでは図の掲載は割愛する。表 2 から分かるように、4,500m 以上は非常に低い傾き (0.136) を示し、次に高い標高帯 (3,000 ~ 4,500m) および 1,000 ~ 1,500m でも低い傾きを示している。統計的に相関係数は、4,500m 以上は 95% で有意であるものの、他はすべて 99% 有意となっている。

同様の統計を各月に対して取ったが、紙面の都合から、相関係数の結果のみ図 6 に示す。4,500m 以上をのぞき、冬に相関係数は低めの値を示している。3,000 ~ 4,500m における 5 月の極小、1,500 ~ 3,000m における 4 月の極小については、今後の詳細な調査が待たれるが、対象地域が比較的広い降水システムの地域差が大きいことも要因の一つであろう。同様に、6 月を除き夏のモンスーン期に標高帯ごとの相関係数のばらつきが大きいこともモンスーンの季節進行と降雨タイプなどに注意して、今後調査を進める必要がある。11 月から 4 月は、図 3 に示したように、チベット高原上はほとんど降水がみられない。それゆえ、冬季の 4,500m 程度のデータは 0mm/月の場所も多く、この無降水効果により、見掛け上 11 月から 4 月

の相関が高くなっていると考えられる。

PR-clim と RG-clim の各月、各標高帯の回帰式係数も計算した (表は省略する)。表 1 で、2 月から 5 月は PR-clim が RG-clim を上回る結果を示したので、4 月を例として図 7 に散布図と回帰式を示す。大変興味深いことに、標高の低いところ (0 ~ 1,500m) では、PR-clim が RG-clim を上回り、1,500m より高いところでは PR-clim は RG-clim を非常に下回る結果を示した。ただし、散布図から観測されるように (赤とオレンジ色のドット) PR-clim が上回る場所 (RG-clim が 50mm 程度) のときに PR-clim が 100 ~ 200mm に縦方向にばらつく) もみられる。対象地域は広いので、同じ標高帯についても特殊なふるまいをするグリッドセルの位置など、今後丁寧に解析を行う予定である。一方、統計的結果から、4 月は PR-clim が過大評価になるのは 0 ~ 1,500m であった。同様に回帰式を求めた際に PR-clim > RG-clim との傾向を示した月・標高は、2 月の 250 ~ 1,000m と 3 月の 0-1,000m となった。理由については、PR 開発者や降雨特性の専門家と共に解明する必要がある。

ここで得られた関係式に基づき PR-clim を補正した気候値を計算した (4 月の補正例については Yatagai and Kawamoto¹³⁾ に掲載した)。パターンそのものは補正前と大きく変化しないが、PR-clim が過少評価のケースが多いため、全体的には多めの見積もりとなった。

まとめ

・ 熱帯降雨観測衛星に搭載された降雨レーダ (PR) の 10 年間の観測値を用い、ヒマラヤ周

表 2 標高ごとの RG-clim (年降水) と PR-clim (年降水) の統計的關係。N: サンプル数。R: 相関係数。A, B は $(PR-clim) = A \times (RG-clim) + B$ の一次回帰式における傾き (A) と切片 (B)

Level (m)	N	R	A	B
ALL	2695	0.786	0.697	124.210
Z >= 4,500	24	0.436	0.136	118.175
3,000 > Z >= 4,500	127	0.638	0.398	127.305
1,500 > Z >= 3,000	241	0.762	0.653	266.799
1,000 > Z >= 1,500	153	0.489	0.364	904.554
500 > Z >= 1,000	268	0.749	0.790	89.459
250 > Z >= 500	647	0.769	0.775	4.826
0 > Z >= 250	1231	0.817	0.660	155.795

辺の月降水量の気候値パターンを提示した。

- ・ PR は定量性に問題があるため、APHRODITE プロジェクトで収集した雨量計データによる気候値と PR の気候値を 0.05 度グリッドセルで比較し、補正方法を検討した。
- ・ 夏季降水 (7-9 月) について PR は対象地域 (70-105° E, 20-36° N) の平均で、28% から 38% 過少評価していることが明らかになった。
- ・ 標高帯ごとに各月の PR 気候値と雨量計気候値を比較したところ、ほとんどの季節、標高帯で PR は過少評価の傾向が見られたが、一方で、2 月の 250-1,000m、3 月の 0-1,000m、4 月の 0-1,500m では、PR が過大評価を示した。

謝辞

本研究は、主として環境省の地球環境総合推進費 (B062) 課題によりサポートを受けた。部分的には、日本学術振興会の科学研究費補助金 (No.19540467) と、総合地球環境学研究所の高所環境プロジェクトからサポートを受けた。

参考文献

- 1) IPCC: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA .2007a; 996pp.
- 2) IPCC: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden, Hanson CE (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2007b; 976pp.
- 3) 安成哲三・藤井理行『ヒマラヤの気候と氷河 (気象学のプロムナード)』東京堂 1983; 254pp.
- 4) Yatagai A, Xie P, Kitoh A: Utilization of a new gauge-based daily precipitation dataset over monsoon Asia for validation of the daily precipitation climatology simulated by the MRI/JMA 20-km-mesh AGCM. SOLA 2005; 1, 193-196, doi: 10.2151/sola.2005-050.
- 5) Yatagai A, Xie P: Utilization of a rain-gauge-based daily precipitation dataset over Asia for validation of precipitation derived from TRMM/PR and JRA25, *Proc. SPIE* 0604-53, doi: 10.1117/12.723829, 2006.
- 6) Krishnamurti TN, Kishtawal CM, LaRow TE, Bachiochi DR, Zhang Z, Williford CE, Gadgil S, Surendran S: Improved weather and seasonal climate forecasts from multimodel superensemble. *Science* 1999; 285, 1548-1550.
- 7) Krishnamurti TN, Mishra AK, Chakraborty A, Rajeevan M: A downscaling strategy for improved precipitation forecasts over India. Part I: Medium range weather prediction“. *Mon. Wea. Rev.*, 2009 (submitted).
- 8) 谷田貝亜紀代: 水循環解析—データの作成と利用—, *天気* 2007; 54, 11-14.
- 9) Gruber A. and Levizzani V. Assessment of global precipitation products, A project of the World Climate Research Programme, Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) radiation panel, WCRP-128, WMO/TD-No.1430, 2008, 50pp.
- 10) Daly, C., R. P. Nielsen, and D. L. Phillip: A statistical topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *J. Appl. Meteor.* 1994; 33, 140-158.
- 11) Xie P, Yatagai A, Chen M, Hayasaka T, Fukushima Y, Liu C, Yang S: A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. *J. Hydrometeor.*, 2007; 8, 607-627.
- 12) Peterson TC, Vose RS: An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database, *B. Am. Meteorol. Soc.* 1997; 78, 2837-2849.
- 13) Yatagai, A. and Kawamoto, H.: Quantitative estimation of orographic precipitation over the Himalayas by using TRMM/PR and a dense network of rain gauges, *Proceedings for SPIE*, 2008; 7148-11, DOI:10.1117/12.811943.
- 14) Yatagai A: “Three-dimensional features of

- summer monsoon precipitation seen from TRMM/PR and latent heat release over South Asia”. Proceedings of the AMS annual meeting “Symposium on Precipitation Extremes: Prediction, Impacts, and Responses”, January, 2001, Albuquerque; 195-198.
- 15) Yatagai A: “Characteristics of orographical precipitation over South Asia seen from TRMM/PR”, Proceedings of the 1st International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, APHW2003, Kyoto; 51-56.
 - 16) Anders AM, Roe GH, Hallet B, Montgomery DR, Finnegan NJ, Putkonen J: “Spatial patterns of precipitation and topography in the Himalaya” in Willett SD, Hovius N, Brandon MT, Fisher D, Eds. *Tectonics, Climate, and Landscape Evolution: Geological Society of America Special Paper 2006*; 398, 39-53, doi: 10.1130/2006.2398(03).
 - 17) Shepard, D.: A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data: *Proc. 23rd national Conf. ACM.*, 1968; 517-524.

Summary

Quantitative Estimation of Precipitation Climatology over the Himalayas

Akiyo Yatagai

Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto, Japan

It is clear that quantified grid observation data at a reasonable resolution are indispensable for environmental monitoring as well as for predicting future change of mountain environment. However quantified datasets have not been available for the Himalayan region. Hence we quantitatively evaluate climatological precipitation data around the Himalayas. We compared the long-term averaged values of both Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)/Precipitation Radar (PR) and rain gauge observations. To validate and adjust these patterns obtained from TRMM/PR, we used a dense network of rain gauges to measure daily precipitation over Nepal, Bangladesh, Bhutan, Pakistan, India, Myanmar, and China. Compared with the rain gauge observations, the PR systematically underestimated precipitation by 28-38% in summer (July-September). Significant correlation between TRMM/PR and rain-gauge data was found for all months, but the correlation is relatively low in winter. The relationship is investigated for different elevation zones, and it was found that the PR underestimated RG data in most zones, except for certain zones in February (250-1000m), March (0-1000m), and April (0-1500m). Monthly PR climatology was adjusted and depicted on the basis of monthly regressions between the two sets of data.

Keywords: precipitation, Tropical Rainfall Measuring Mission, Himalayas, high-resolution models