

2010年8月上旬のラダーク鉄砲水災害時の降水・気象条件

谷田貝亜紀代

筑波大学生命環境系

I. はじめに

日本では猛暑となった2010年夏季、西ヒマラヤに位置するラダークは、8月4-7日に少なくとも過去200年経験したことのない鉄砲水、土砂災害を経験した。この夏ユーラシア大陸では、ロシアの熱波、パキスタン洪水、中国の洪水など、いくつもの異常気象が連動して発生している。国際的にもいくつかのグループがこの年の異常気象の解明に向けて、ジェット気流の蛇行や海面水温偏差（当時ラニーニャが発生）に着目し報告している¹⁻⁴⁾。

西ヒマラヤ域は、直接観測データがほとんどないが、総合地球環境学研究所高所プロジェクトでラダークに設置した気象測器は、鉄砲水をもたらすきっかけとなった降水、気象条件を記録していた。筆者らは前報⁶⁾で、2009年と比較しつつラダークの中心都市レーと、その西200kmに位置するドムカル村の降水、気象条件を報告する一方、ラダークの豪雨をもたらした気象条件を、大陸スケールの異常気象の観点からも考察し報告した⁵⁾。

ラダークはパキスタン北部に隣接しているだけでなく、パキスタンに注ぐインダス川の支流が流れる。このため、パキスタン洪水の発生した時期のラダークでの観測データを報告することは、ラダーク鉄砲水の要因理解だけでなく、パキスタン洪水の理解、そしてその両者の今後の再現性についての示唆を与える。高所プロジェクトでは、ドムカル村での自動気象観測装置（AWS）による風や放射を含めた観測に加え、おんどとり Jr. という簡易計測機器をラダーク地域10数か所に設置し気温・湿度データを得ている⁷⁾。そこで、本稿では、解析対象期間をパキスタン洪水の発生した7月後半からラダーク洪水の発生した8月上旬に焦点をおき、プロジェクトで計測した独自データをベースに、この時期の気象条件について報告する。

II. 対象地域と観測点

図1に30秒（約1km）間隔メッシュ標高データ GTOPO30 の標高データに、本研究対象地域、設置した測器の位置を示した。AWSを設置したドムカル村と、カウンターパートの1つである Ladakh Ecological Development Group (LEDeG) のキャンパスのあるレー、おんどとり Jr.⁷⁾ の設置箇所をプロットした。本原稿で扱う気象データの観測位置と要素は表1にまとめた。

ドムカル上村では気温、湿度、風向、風速、気圧、降水量（降雨量）の基本6要素を Vaisala 複合センサ CVS-WXT520 で、また短波・長波放射4成分（Huksefulx CHF-NR01）と紫外線（305-385nm, KIPP&ZONEN CUV4）も計測中である。2009年6月9日から、2012年2月25日まで問題なく計測できた。図1下図のように、ラダーク山脈は西北西—東南東に走り、ドムカル谷やレーの谷などは南南西—北北東に切り込んでいる。図2に、AWS設置地点周囲の地形、航空写真を示した。設置地点より上流側は谷筋が北東方向に延び、下流側は南に延びる。AWSは川の右岸の平な土地に設置したが、東西とも山が迫る。

III. 観測データ

1. 夏季の全体像

図3にドムカル上村のAWSで計測した気温、湿度、気圧、東西風、南北風、降水量の半月平均値を示す。前報⁶⁾図2と基本的に同じであるが、2011年9月までの観測データを加え、3年間のデータが得られる期間（6-9月）に絞った。風向風速は、風速と角度（北風が0度、東風が90度）で計測されているが、風ベクトルを東西風（U, 正は西風）と南北風（V, 正は南風）に変換した後半月平均値を計算した。また、半月（5日）平均のため図3の風速を含むすべての要素は日変化を相殺した場である。

一見して2010年8月（第44～47半月）は降

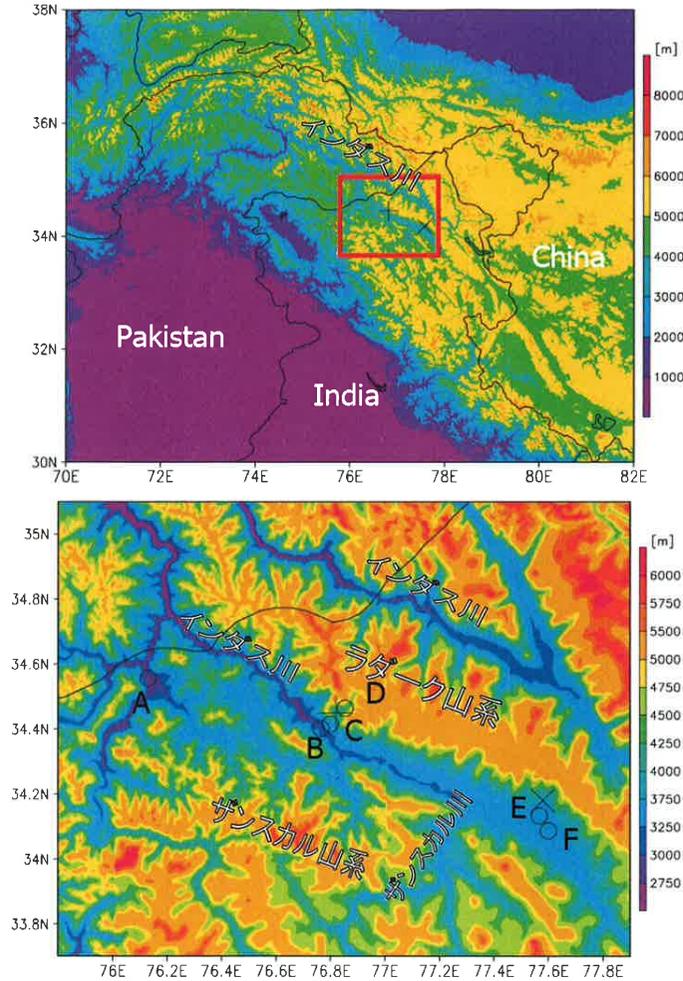


図1 GTOPO30の標高に、本稿で扱う測器の設置個所を示した。上図の赤枠の範囲が下図の範囲に対応する。上下図とも十はドムカル上村（AWS設置場所）、×はレー（LEDeGキャンパス、雨量計設置場所）。A～Fの記号を付した○は、おんどり（気温・湿度センサー）を設置した箇所。A：カルギル、B：ドムカル下村、C：ドムカル中村、D：クラムリック、E：レー南部（ラダーク予防医学研究所）、F：チュシヨット。地点名のアルファベット表記は表1にまとめた。

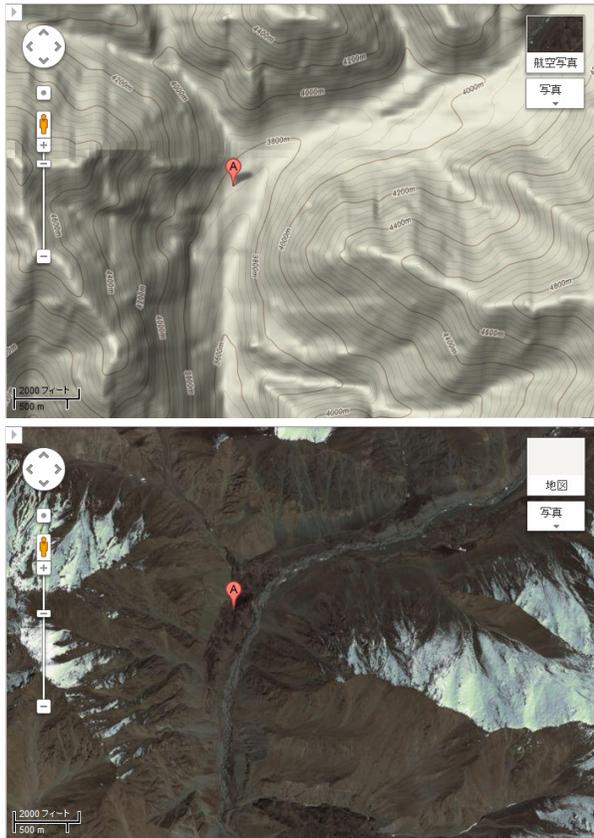


図2 ドムカル上村 AWS の場所を Google Map に落としたもの。上：地形情報、下：航空写真。

表1 ラダークにおける、気象観測装置名、場所、データ利用期間、測定項目、測定時間間隔の一覧。LEDeG Campus は Ladakh Ecological Development Group のキャンパスのこと（メインオフィスとは別の場所）。おんどとり（気温・湿度センサー）を設置した箇所 E は、レー南部に位置するラダーク予防医学研究所（LIP）。

図1の位置	装置名	設置場所 (alphabet表記)	経度 (度)	緯度 (度)	高度 (m)	本稿で示す測定項目	測定（記録）間隔
+	自動気象観測装置 (AWS)	ドムカル 上村 (Domkhar Gongma)	76.820	34.450	3808	気温・湿度・気圧・風向・風速・降雨量	10分平均
	おんどとり					気温・湿度	1時間毎
×	雨量計	レー (Leh)	77.580	34.180	3582	降雨量	0.5ミリの降雨毎
	おんどとり						気温・湿度
○A	おんどとり	カルギル (Kargil)	76.130	34.557	2800	気温・湿度	1時間毎
○B	おんどとり	ドムカル下村 (Domkhar Doe)	76.765	34.402	2926	気温・湿度	1時間毎
○C	おんどとり	ドムカル中村 (Domkhar Barma)	76.799	34.415	3294	気温・湿度	1時間毎
○D	おんどとり	クラムリック (Kuramluk)	76.854	34.464	4124	気温・湿度	1時間毎
○E	おんどとり	レー南部 (South Leh)	77.567	34.133	3315	気温・湿度	1時間毎
○F	おんどとり	チュシヨット (Chuchot)	77.601	34.087	3252	気温・湿度	1時間毎

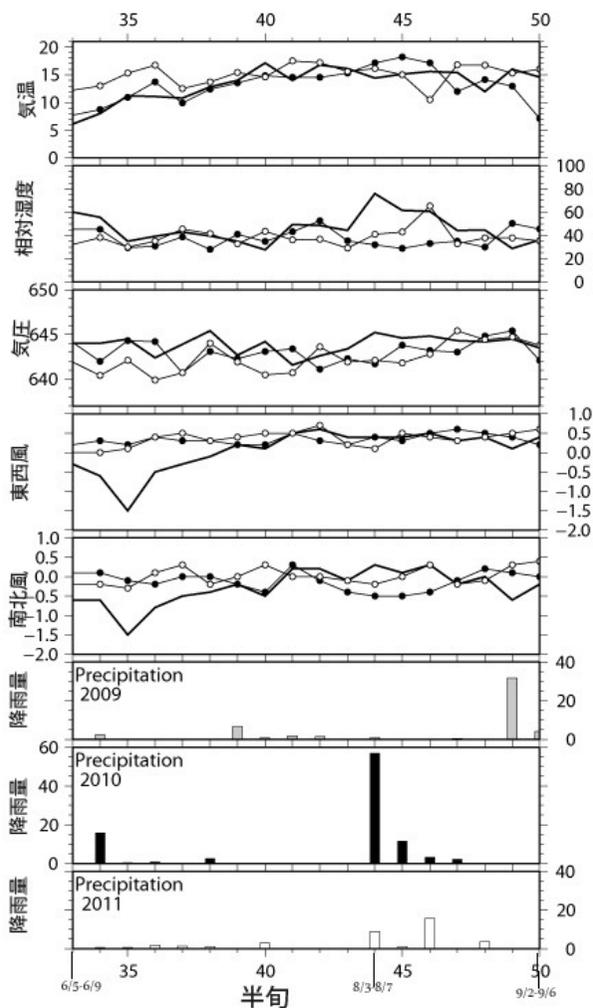


図3 2009年6月から2011年9月の半月平均時系列（上から気温（°C）、相対湿度（%）、気圧（hPa）、東西風速（m/s、正が西風）、南北風速（m/s、正が南風）、半月降水量（上から2009、2010、2011年の各年）時系列。ただし第33半月（6/5-6/9）から第50半月（9/2-9/6）。2010年洪水発生は第44半月（8/3-7）。黒丸：2009、白丸：2011、丸なし太線：2010年。

水があるが他の年より多いこと、この期間相対湿度が高かったことが明らかである。2010年第44半月の気圧も他の2年より高く、南北風が正すなわち2010年第44半月は南風成分が強かったことがわかる。2010年6月中旬の風向偏差が東西風、南北風Vともに負で北東風が強かったことも目立つ。次にAWS設置個所近辺の地形（図2）を踏まえた上で、夏季の風向の特徴をまとめる。

2. ドムカル上村の風

図4、図5にAWSによる夏季の風向風速データを整理したので見てみよう。10分平均の風向の出現頻度（図4a、図5a）は、北（N）、南（S）が高く、時間帯もNが0-6時、Sが12-18時に高い。これは、南北に延びるドムカル谷で発生している山谷風である。山谷風は地表面の暖められ方、夜間の放射冷却により生じる気圧差が原因で発生す

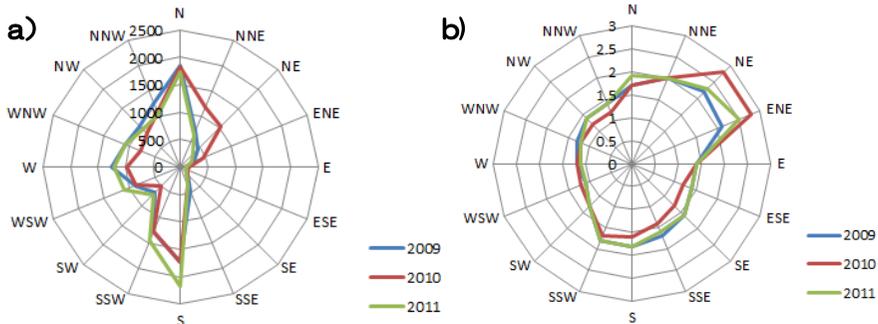


図4 ドムカル上村設置の気象測器が計測した風向、風速の統計。2009年、2010年、2011年における、6月11日0時から9月11日24時までの a) 10分平均の風向(16方位)の頻度 b) 各16方位ごとの、平均風速(m/s)。対象期間(各年93日間)に10分値データは各13392回含まれる。たとえば a) で2010年(赤)のNは1813であるが、これは2010年の夏季13392サンプルのうち1813回は北風で、北側からAWSに南向きの風が吹いたことを示す。b)の2010年のNは1.7(m/s)であるが、13392回の風向風速データを16方位に分割した場合の北風(1813回)の平均が秒速1.7メートルであったことを示す。

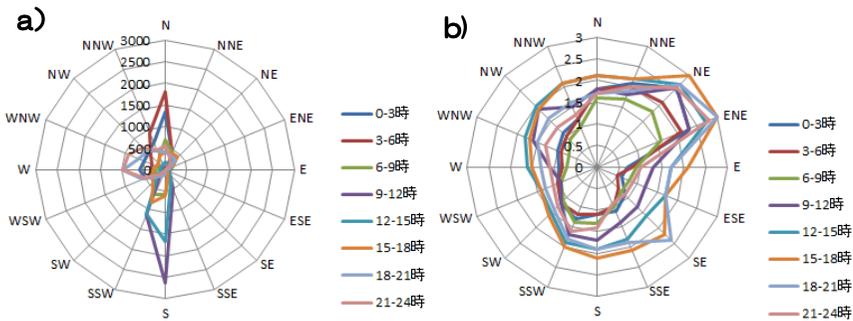


図5 ドムカル上村設置の気象測器が計測した風向、風速の10分平均値を、3時間ごとに集計したもの。2009年、2010年、2011年における、6月11日0時から9月11日24時までのデータを使用し a) 10分平均の風向(16方位)の出現頻度、b) 各16方位ごとの、平均風速(m/s)を計算。

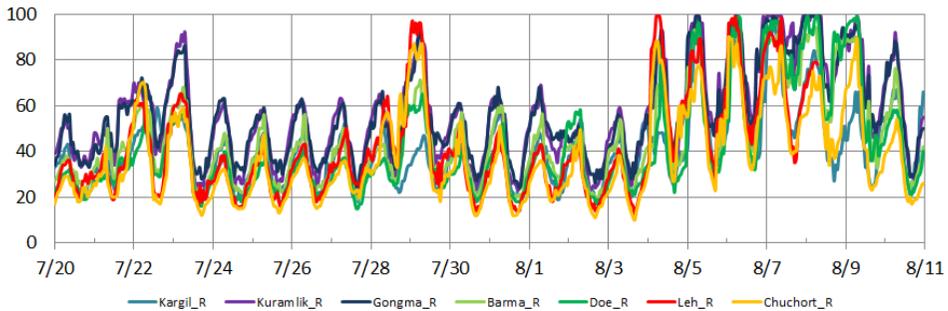


図6 おんどりの計測した相対湿度時系列。2010年7月20日から8月10日。1時間ごとの値をプロット。日付のついた目盛および補助目盛は0時を表す。地点名は凡例の通りであるが、カルギル、クラムリック、ドムカル上村、ドムカル中村、ドムカル下村、レー、チュシヨット(アルファベット表記との対応は表1に示した)。

るので、晴天時によく発達する。ラダークは偏西風帯なので、一般風の卓越風向は西風であるが、付近の地形特性（図2）によりドムカル上村は西（W）・東（E）からは風が入り込みにくい。上述のようにAWSから上流側は谷筋が北東方向に延び、谷幅も広がる。2010年は北東（NE）、北北東（NNE）からの風の頻度が相対的に高い。

次に、風向別の風速の平均値（図4b, 図5b）を見る。北東、東北東方向からの風が、南北風と同じかそれ以上に強い。北東方向からは頻度は低いが強い風が吹くこと、2010年特に北東（NE）、北北東（NNE）からの風が強いことがわかる。時間帯に注目すると（図5b）、深夜から朝（0時から9時）の風速はそれほど強くないが、谷風が発生する時間帯はどの方角からであっても風速が大きい。

2010年夏季に北東風が卓越したことについては、上記のとおり第35半旬（6月20-24日）に東西風、南北風ともに負の極大になっていることから明らかである（図1）。第33半旬（6月10-14日）から、38半旬（7月5-9日）にかけて、他の年と比べても北東風成分が強い。しかし、ラダークで洪水が発生した第44半旬（8月5-7日）には、その傾向はみられない。つまり、2010年8月上旬の洪水発生時までは北東風偏差は持続していない。2010年5月下旬から7月上旬まで持続した北東風偏差、低温傾向については、筆者がAWS設置のため2009年6月に訪問した際、「春なのにじめじめしており低温だ。これは異常気象か？」とカウンターパート（レー在住）尋ねられたことと一致する。また2010年6月は「普通この時期にこんなに雨は降らないし、雪で道が閉ざされたりはしない。何がおこっているのだ？」と聞かれた。一方で2011年9月には、「今年はいいい夏だった。普通だった。」とカウンターパートは話した。これらの話を踏まえると、図3の6月の気温で、2011年が他の2年より高いがこちらが例年に近く、2009, 2010年の6月が異常な低温であったのかもしれない。

3. 気温と湿度の分布

1. 2. 節では、ドムカル上村に設置したAWSの結果を見たが、以降はおんどりデータ（図1下、表1）や広域気象データを見ることにする。

図6は、2010年7月20日から8月10日の相対湿度の時系列を比較したものである。一見して示した7地点は同様の変動を示し、顕著な日変化と、7月22-23日、7月28-29日、8月4-10日に相対湿度の高い時間帯がある。湿度が100%近くなるのは深夜0時から早朝6時頃のことが多い。7月は隣国パキスタンでは豪雨がみられたが、Hong et al. (2011)¹⁾は、7月20日をピークとする第1サージ、7月29日をピークとする第2サージ、8月7日をピークとする第3サージ、8月10-13日頃の第4サージを定義している。図6の7月22-23日、7月28-29日の湿度の高い時期、ピークは若干ずれるが、パキスタン北部へのモンスーンサージの時期と一致する。しかしながら、図3でも明らかなおと、ドムカル上村ではほとんど降水がなく、レーで7月28日早朝に1ミリの降水が見られた⁶⁾のみである。興味深いことにドムカル上村、クラムリックではこの2回とも湿度が高いが、最西部のカルギルは7月29日は他と異なり相対湿度が低い。7月29日はレー南部にあるLIPとレーの南（インダス川の対岸）チュショットでは相対湿度が高い。この2回の気流系は異なるのであろう。ラダークの洪水土砂災害に関連する8月4日-10日は、ほとんどの地点で早朝の相対湿度が高いが、カルギルは8月4日、8月9日の両日それほど高くはない。レーは8月7日の朝は降水がみられたが、8月7日昼から8月10日の昼は降水が観測されていない⁶⁾。一方ドムカル上村は8月7-9日も降水が観測されており⁶⁾、相対湿度の違いの傾向と一致する。この時期は前述のパキスタン北部洪水の第3サージと一致する。

相対湿度は飽和水蒸気圧に対するその場の水蒸気圧であり、飽和水蒸気圧は温度の関数である。このため、気温が低い夜間は相対湿度が高く、両者の日変化は反比例の傾向を示すことが多い。そこで、実際の水蒸気の流れを考察するために、いったん日変化を消す操作を行い、気温、湿度の変化を見てみよう。

気温（図7a）は標高に強く依存するため地点間の温度差は大きい。同じドムカル谷のクラムリック・ゴンマ（上村）・バルマ（中村）・ドー（下村）の変化傾向は似ている。またレーとチュショットは川の対岸にあるが気温の絶対値とその変化傾向はほぼ同じである。カルギルはラダーク山系か

ら離れており他と変化傾向が違う時がある。7月28-29日には、レーでは気温が低下しており、ドムカル谷の4地点も若干の低下がみられるがカルギルにはその傾向がみられない。一方7月22-23日には全体的に気温が低下する。洪水の発生した8月3日から8月7日には、徐々に気温が低下している。

湿度グラフ(図7b)はおおざっぱには気温の逆の傾向を示し、低温傾向のときに湿度が高いが、7月22-23日と7月28-29日でレーとカルギルの傾向が異なることが興味深い。8月4-8日、ドムカル谷とレー・チュシヨットは傾向が異なり、ドムカルは8月5日から8日にかけて相対湿度は増加しているが、レー・チュシヨットはほぼ60%

でとどまっている。対象地域(図1下図)東方はレーが被災した8月5-6日の前夜にも被害があり、対象地域西方、ドムカルの西のスカルプチャンの谷などでは、8月6-7日、8月7-8日に災害があったという話も現地でも聞いた。図7に示した相対湿度の傾向はドムカル周辺はレーより後の日でもまとまった降水があったという聞き取りの話とも一致する。

ここで、水蒸気の絶対量である比湿の議論に進むために、いったんドムカル上村のAWSの詳細データに戻る。図8に2010年7月25日から8月9日までの1時間毎の気圧、風向風速(U, V)、比湿、降水時系列を示した。比湿とは単位質量あたりの空気の重さに対する水蒸気の重さの比(g/

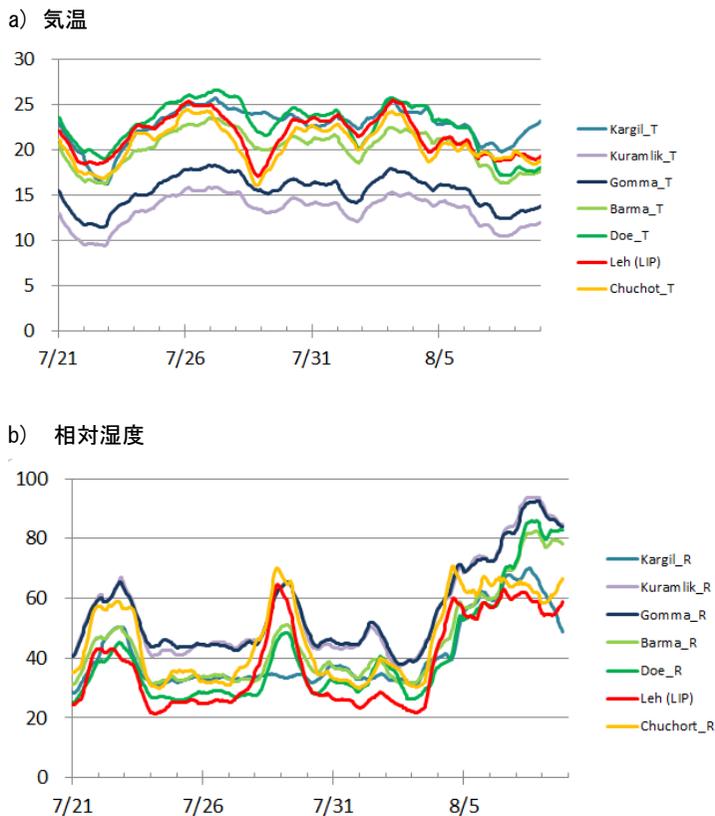


図7 2010年7月20日から2010年8月10日の1時間ごとのa) 気温(°C)、b) 相対湿度(%)を、25時間移動平均することにより日変化成分を落とした時系列(よって示したのは7/21から8/9である)。地点名は凡例の通りであるが、凡例の上からカルギル、クラムリック、ドムカル上村、ドムカル中村、ドムカル下村、レー、チュシヨット。

kg)である。この換算にはドムカル上村 AWS の相対湿度、気温、気圧を用いた。図6では同期間、相対湿度に大きな日変化がみられたが、比湿は8月4日早朝から8月9日昼まで一貫して12 g/kg という高い値を示す。現地地の地表面からの蒸発も含め湿った空気が数日間ずっと上空にあったことがわかる。

ドムカル上村で8/5-6の降水は、8月5日の18時頃降り始めていったんやみ、深夜2時頃から強く降ったという住民の話と一致する記録を AWS は残している。図8でこの降り始めの8月5日 18:00 に風速 (W_s) のピークが見られる。東西風、南北風 V とともに負であり、北東の谷からの東風成分の強い風である。このとき気圧も低い。その後は V が正 (南風) のときは降雨がほとんどみられず、 U 、 V とも入り乱れているときに降水が発生している。

これは風、水蒸気の収束が考えられる。

また気圧 (図8上) は洪水時だけでなくそれ以前にも18時頃に極小、夜半過ぎに極大となる日変化を明瞭に示している。一般に周囲との気圧差 (気圧傾度力) が風が吹く原因であり、日変化する山谷風もそうであるが、洪水の発生した8月4-7日は少なくとも夜間は晴天でなく、山谷風が発達しやすい条件ではない。それにもかかわらずこの期間の気圧の日変化が大きいのは、ドムカル谷、あるいはラダーク山系といったスケールより大きなスケールでの日変化が影響している可能性がある。気圧を測定したドムカル上村では8月3-6日については18時ごろ気圧が極小、降水が発生する深夜から夜半は気圧が上昇し、10-11時ごろ極大を示した。

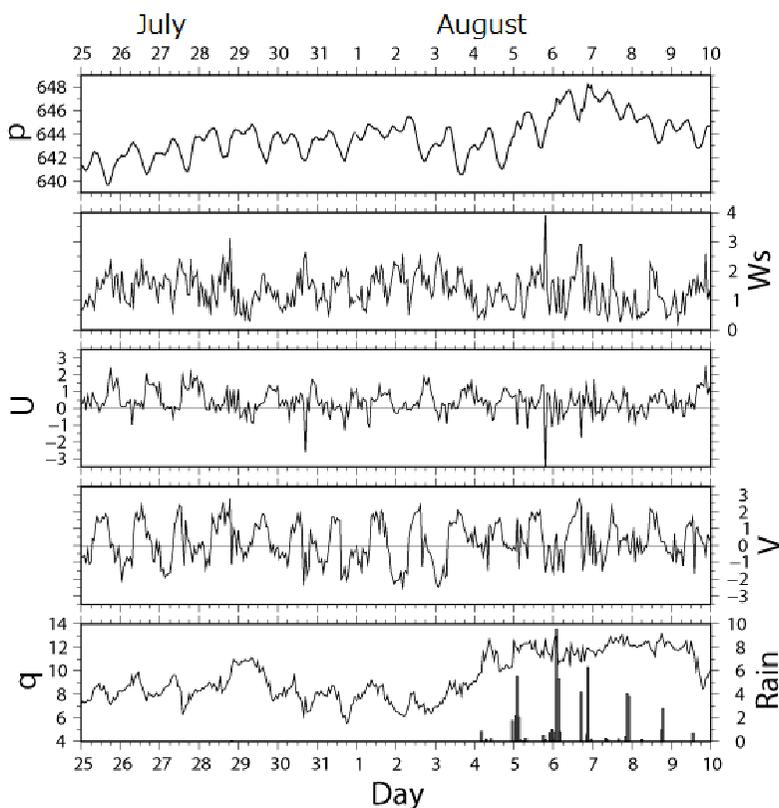


図8 ドムカル上村 AWS の計測した気圧 (p 、単位 hPa)、風速 (W_s 、単位 m/s)、風速東西成分 (U 、単位 m/s)、風速南北成分 (V 、単位 m/s)、降水 (Rain、単位 mm/10分)。最下図には AWS の相対湿度、気温、気圧を基に換算した比湿 (q 、単位 g/kg) を加えた。

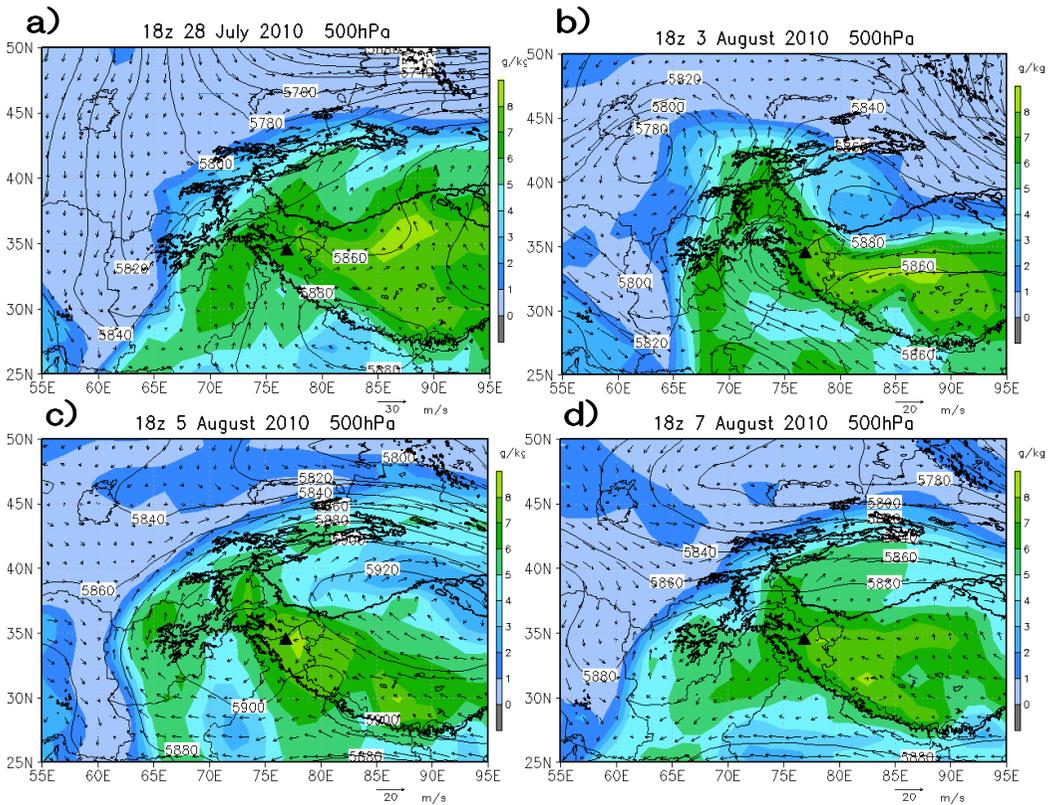


図9 ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) Interim 再解析 (Dee et al. 2011)⁸⁾ による 500 hPa 等圧面高度 (m)、風速 (ベクトル、単位ベクトルは各図の右下)、比湿 (g/kg、カラー)。▲は AWS を設置したドムカル上村の位置を示す。18UTC (世界時、現地) 時間 23 時 30 分)。

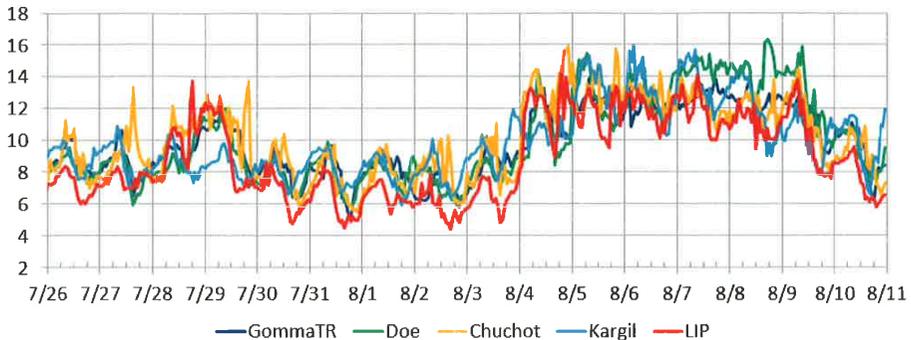


図10 2010年7月26日から8月10日の、ドムカル上村 (Gomma)、ドムカル下村 (Doe)、チュシヨット (Chuchot)、カルギル (Kargil)、レー (LIP) における比湿。おんどとりで計測した湿度、気温データ、AWS の気温・気圧を用いて変換した。日付の振られた目盛は、その日の0時 (現地時刻) を表す。

IV. 広域データ解析と考察

1. 循環場

広域の気象データ（ECMWF 再解析）⁸⁾ による 500 hPa の等圧面高度、風、比湿の空間分布を図 9 に示す。深夜に降水ピークが見られることから 18UTC（世界時、現地時間 23 時 30 分）のものを選んだ。レーで 1 mm の降水がみられ、パキスタン北部で豪雨があった 7 月 28 日深夜（a）7 月 28 日 18UTC）、一連のラダーク洪水発生直前の 8/3 深夜（b）8 月 3 日 18UTC）、レーの被災した 8 月 5 日深夜（c）8 月 5 日 18UTC）、ラダーク西部の一部で洪水土砂災害があったとされる 8 月 7 日深夜（8 月 7 日 18UTC）を比較のため提示する。

7 月 28 日は、ヒマラヤ以南の低地で東南東からの大気下層のモンスーンの水蒸気輸送によりパキスタン北部へと水蒸気が収束したと考えられている²⁾。ドムカルの AWS は、図 1, 8 で認められないほどの微雨であるが、19 時、20 時台にそれぞれ 0.03, 0.05 ミリ / 時の降水を記録している。バルハシ湖上空から天山・パミールの西にそのような形でトラフが伸び、パキスタン北部はトラフの前面に位置しており力学的不安定な場となっている。この偏西風の蛇行による北から寒気移流が、図 7a) で見た 7 月 28 日頃の低温の原因であろう。一方で、ラダーク付近の風向ははっきりしないが、ヒマラヤ南部からの南寄りの風が吹き込んでおり、湿った空気が上昇した後³⁾ 輸送された可能性がある。

8 月 3 日は 83E, 38N 付近に高気圧が出現している（図 9b）。これが谷田貝ほか（2012）⁵⁾ で解析した、2010 年夏のユーラシア大陸の循環偏差の特徴である中央アジアのブロッキング高気圧と関連して、その南側に分岐したジェット気流からつたわった波のエネルギーにより強化された高気圧である。そのチベット高気圧の高気圧性循環の南側を、高原東部・中央部から東風が吹き、湿った空気をラダークへ輸送しているのがわかる。

8 月 5 日はその高気圧が拡大、強化し、引き続き東方向から水蒸気が輸送され、レー付近に比湿の極大がみられる（図 9c）。8 月 7 日には高原全体が高気圧に覆われる。ラダークの等圧面高度は 5 日より下がっている。この気圧傾向は AWS の時系列（図 8 上）と一致する。

2. 比湿の分布、水蒸気輸送

さて、図 8 下図で AWS データを基にしたドムカル上村の比湿時系列を見たが、地点による比湿の時間変化を比較するため、図 6 のおんどりによる相対湿度を比湿に換算した時系列を図 10 に示す。見やすくするため、カルギル、ドムカル上村、下村、レー（LIP）、チュシヨットのみを示す。換算には、おんどりの気温と AWS の気温、各地点の標高、AWS の気圧を用いることで各地点の飽和水蒸気圧を計算し、各地点の気温・湿度から水蒸気圧を計算した。

7 月 28-29 日および 8 月 4-10 日に比湿が高いがカルギルは 7 月 28-29 日は高くない。このことは相対湿度からも得られた結果と一致する。図 8 のドムカル上村の AWS データは洪水時、比湿日変化が明瞭でなく、高い値を示した。一方、図 10 では、ドムカル上村以外の、レー（LIP）・チュシヨット、カルギル・ドムカル下村（ドー）で、比湿の日変化が見られ、そのピークがずれていることがわかる。対象地域東部のレー・チュシヨットは夜半前にピークがあり（8/5, 8/6）、ドムカル下村・カルギルは夜半過ぎにピークがある（8/4, 8/5, 8/6, 8/7）。また 8 月 7 日以降もドムカル下村では比湿が高い状態が 8 月 9 日まで続く。これらは、ドムカル周辺のほうがレーの被災した 8 月 5-6 日より 1, 2 日後でも洪水土砂災害が続いたことと一致する。図 9 の ECMWF による 500 hPa 比湿の空間分布は、8 月 5 日 18UTC（8/6 現地 0 時頃）にレー付近で極大を示しており、レーの被災時の循環場をよく現せているが、より西側で比湿が高くなったと考えられる 7 日については、その特徴は見られない。また図 9 の比湿の値が図 10 のものより低いのは、前者が 500 hPa の値であり後者が地表付近の実測値であることによる違いである。再解析データとしては 1 度グリッドという分解能は高いが、約 200 km 離れたラダークの東部レーと西部ドムカルの違いを考察するには不十分であり、今回示した現地観測データは重要である。

ドムカルでみられた 8 月 5 日 18 時ごろの風速のピークは、ECMWF の場（図 9c, 18UTC）ではみられず、同 12UTC（現地時刻 17:30）の 500 hPa 解析（図略）でも若干北寄りの風であるが風速は弱い。客観解析データは地表付近の細かい尾根谷を表していないので、観測データとの違いが

あって当然であるが、降水の降り始めに現地でも北東風があったことについては、一般場からの影響を受けたものと見ることができる。一般に山岳域の降水の日変化はモデルや再解析データによる再現が難しい。このため、それらの再現性を現地データでチェックしながら理解を深めるためにも今回得られた観測データは非常に貴重なものと言える。

V. まとめ

- ・総合地球環境学研究所の高所プロジェクトの一環で、ラダークドムカル村 (3,800 m a.s.l.) に設置した自動気象観測装置 (AWS) および 10 か所に設置したおんどとり Jr. は 2010 年 8 月上旬のラダークの洪水土砂災害時の気象データを記録した。
- ・洪水発生時期 2010 年 8 月 3-7 日の風向を 2009, 2011 年と比べると、南風成分が強い。1 時間ごとの風向の記録から、北風 (山風) 成分が弱いことがわかった。広域的には、チベット高原北部に 8/3 頃から形成された高気圧の南側の東風により、高原南部の水蒸気がラダークに運ばれたことがわかった。
- ・洪水発生時期を含め AWS の気圧は 18 時ごろ極小で、10-11 時頃極大になる日変化を示す。2010 年 8 月 3-6 日は気圧の日変化も大きく、深夜に集中する降水には大規模なスケールの日変化の存在が考えられる。
- ・ラダークで洪水が発生した 8 月 3-7 日は、パキスタン洪水の主な降水イベントのピークとはずれている。パキスタン洪水時にラダークでは強い降水を観測していない。しかし AWS やおんどとりは、パキスタン北部の洪水時期に高い相対湿度を示したものが多い。

謝辞

本研究は、総合地球環境学研究所の高所プロジェクトへの貢献である。測器の設置と維持にあたっては、LEDeG の方々にお世話になった。ラダーク調査全体にわたり、総合地球環境学研究所奥宮清人准教授、福井大学月原敏博教授にお世話になった。ドムカル中村、下村のおんどとりは京都大学竹田晋也准教授に、カルギルのおんどとりの設置は写真家の小林尚礼さんに設置していただ

いた。

参考文献

- 1) Hong, C.-C., H.-H. Hsu, N.-H. Lin and H. Chiu, 2011: Roles of European blocking and tropical-extratropical interaction in the 2010 Pakistan flooding. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L13806, doi:10.1029/2011GL047583.
- 2) Houze, R.A., K. L. Rasmussen, S. Medina, S. R. Brodzki, and U. Romatschke: Anomalous atmospheric events leading to the summer 2010 floods in Pakistan. 2011: *BAMS*, 92, 291-298, doi:10.1175/2010BAMS1373.1.
- 3) Webster, P. J., V. E. Toma, and H.-M. Kim: Were the 2010 Pakistan floods predictable? 2011: *Geophys. Res. Lett.*, 38, L04806, doi:10.1029/2010GL046346.
- 4) 宮坂貴文・中村 尚・谷田貝亜紀代, 2010 年夏季ユーラシア域の異常気象の連関と偏西風の異常蛇行気象研究ノート「2010 年夏 日本の猛暑」2012 (印刷中).
- 5) 谷田貝亜紀代, 宮坂貴文, 中村尚: インド北部ラダークの洪水 気象研究ノート「2010 年夏 日本の猛暑」2012 (印刷中).
- 6) 谷田貝亜紀代, 中村尚, 宮坂貴文: ラダーク気象観測—通年データと 2010 年 8 月洪水時の状況—, ヒマラヤ学誌 2011: 12, 60-72.
- 7) 谷田貝亜紀代: ラダーク気象観測—背景と初期データ—. ヒマラヤ学誌 2010: 11, 54-63.
- 8) Dee, D.P., and 35 co-authors: The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.* 2011: 137, 553-597. DOI:10.1002/qj.828.

Summary

Meteorological Conditions Related to the August 2010 Flash Flood Event in Ladakh, in the West Himalayas

Akiyo Yatagai

Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

Ladakh, located in northern India, experienced flash flooding and debris flow from 4–7 August, 2010. The Research Institute for Humanity and Nature's high-altitude project installed an automatic weather station (AWS) and small temperature and humidity sensors in Ladakh in June, 2009. These instruments recorded the meteorological conditions associated with the unprecedented disaster in Ladakh.

This study presents meteorological data recorded from late July to early August, 2010, compares these data with data recorded during two other years (2009 and 2011), and investigates linkages between the data recorded in August, 2010 and the large-scale circulation field. Flooding occurred in Ladakh during the nights of 4–7 August, when the rainfall was most concentrated. Recorded AWS pressure and wind data reveal a clear diurnal circulation, suggesting a plateau-scale diurnal variation. From 4–7 August, 2010, southerly and easterly winds prevailed and surface air pressure was higher than during the other two years. These changes corresponded to easterly winds turning around the south of the Tibetan High located in the northern part of the Tibetan Plateau. Moisture came into Ladakh from the south part of the Plateau.

The timing of the precipitation event in Ladakh differed from that of the moisture/ precipitation surge in the northern part of Pakistan. When Pakistan experienced precipitation events in late July, most stations in Ladakh recorded relatively high humidity during this time, but Ladakh experienced no precipitation in July except for 1 mm on 28 July at Leh. The moisture flow pattern associated with the flooding in Ladakh differed from that associated with the flooding in Pakistan, but during the boreal summer of 2010 the heat wave in Russia, the flooding in Pakistan, and the flooding in Ladakh were all related to the wave energy transport of the jet stream.