

# ラダーク気象観測 — 通年データと 2010 年 8 月洪水時の状況 —

谷田貝亜紀代<sup>1)</sup>、中村 尚<sup>2)</sup>、宮坂貴文<sup>2)</sup>

1) 総合地球環境学研究所、2) 東京大学大学院理学系研究科

## はじめに

総合地球環境学研究所高所プロジェクトで、乾燥ヒマラヤであるインド北部のラダークに自動気象観測装置 (AWS) などを 2009 年夏季から設置し観測を開始した<sup>1)</sup>。チベット高原西部は気象観測データの空白域である。インド北部ラダークについてはインド気象庁 (IMD) や軍がレーで観測を行っているが、近年のデータの入手は難しい。またプロジェクトの学際的な目的の点から、対象地域の気象環境を記録、解析することは重要であると考えたことがその設置の目的であった。

例えば地球温暖化やグローバルな自然気候変動 (エルニーニョやラニーニャ、ジェット気流の蛇行の仕方など) との関連に関する理解がすすみ季節予報や将来予測がなされようという時、そういったグローバルな事象が、ラダーク地域の災害や人々の生活にどう影響するのかを今後考察するためには、まずはレーやドムカル村で計測したデータを報告し丁寧に分析することが重要である。

ラダークに設置した測器のうち、早いものは 2009 年 6 月半ばからのデータが取得されている。

1 年数カ月のデータから論じられることは限られているが、1) 年間のデータがあること、2) 夏季 (6 月半ば～9 月末) は 2 年分のデータがあること、3) 2010 年 8 月 6 日前後に対象地域で豪雨が引き金となった洪水土石流災害が発生したとされることから、本稿は、取得されたデータから降水量を中心に報告を行うことを目的とする。

## 対象地域と気候値

図 1 は Google Earth で見たチベット西部の地形図に、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をプロットしたものである。ドムカル村とレーは、ラダーク山系の南向き斜面にあたる。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。

衛星搭載降雨レーダー (TRMM/PR) による気候値的な降水分布を谷田貝<sup>1,2)</sup> に示したが、ラダークはヒマラヤ分水嶺より北側に位置し、年降水量 100 ミリ程度の乾燥地域である。Global Historical Climatology Network (GHCN)<sup>3)</sup> による 1876 年～1969 年の間の 1104 カ月を集計したとされるレー

表 1 ラダーク (ドムカル村、レー) 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)。

図1-3の位置	装置名	設置場所	データ取得 / 本稿での利用期間	経度	緯度	高度	本稿で示す測定項目	測定 (記録) 間隔
A	自動気象観測装置 (AWS)	ドムカル上村	2009/6/9 ~ 2010/10/8	76° 49' 12.00"	34° 26' 60.00"	3808m	気温・湿度・気圧・風向・風速・降雨量	10分
B	雨量計	レー LEDeG Campus	2010/6/14 ~ 2010/8/11	77° 34' 48.00"	34° 10' 48.00"	3582m	雨量	5ミリの降雨毎
C	LEDeG AWS (Gompa station)	レー北部 ゴンパ	2010/8/4 ~ 2010/8/8	77° 35.363'	34° 10.911'	3734m	雨量	15分

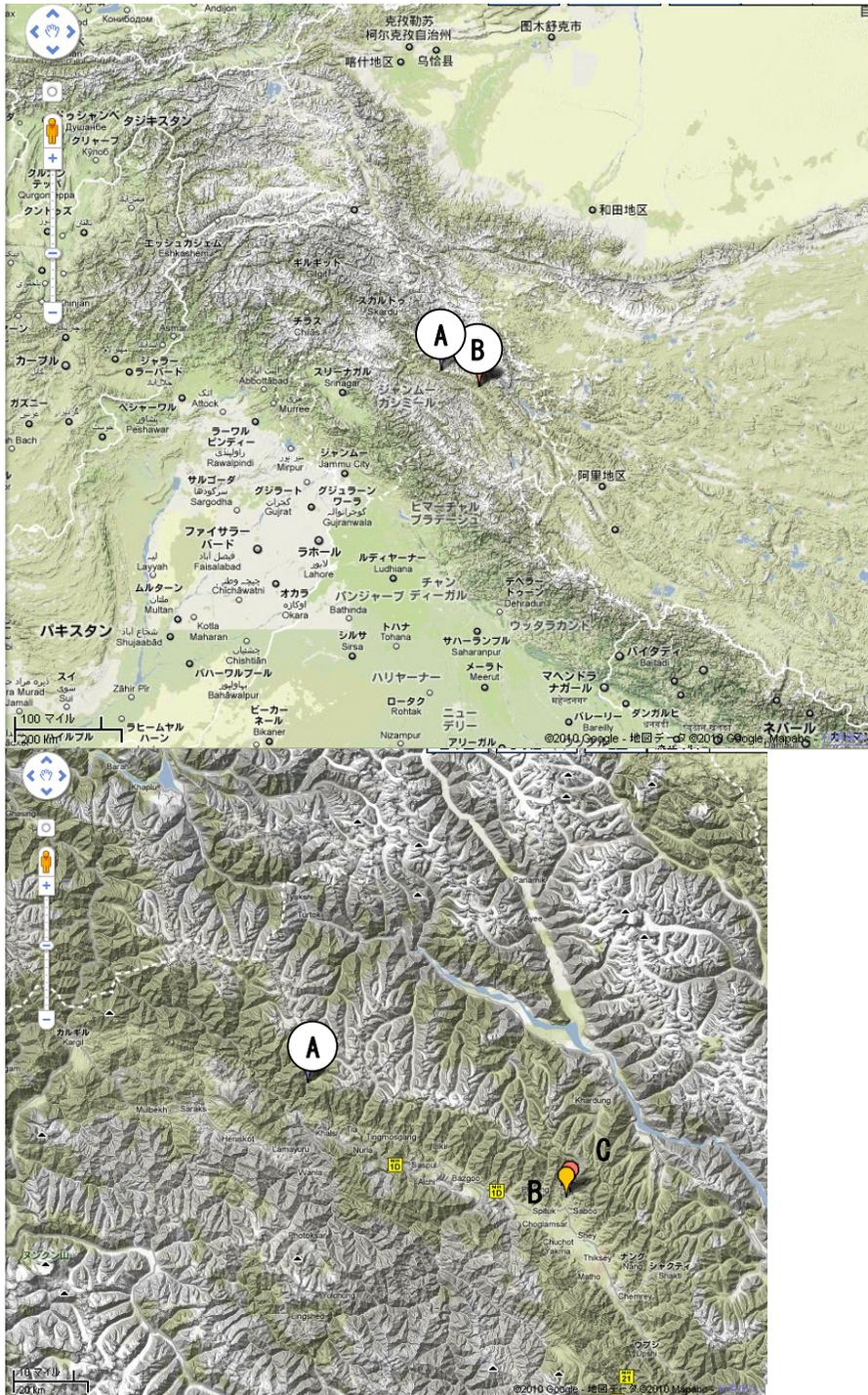


図1 Google Earthの地形図に観測地点をプロットしたもの。A：ドムカル上村 (AWS 設置場所)、B：レー (LEDeG キャンパス、雨量計設置場所)、C：レー北部ゴンパ (LEDeG による気象観測箇所)。

表2 Global Historical Climate Network (GHCN) による、レー (Leh 約 34.15° N 77.50° E 高度 3513m) の月平均降水量 (ミリ/月)。インターネットで公表されているもの (www.worldclimate.com) から転記。

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann.
9.8	8.3	8.6	6.4	6.4	4.4	12.8	15.4	8.5	4.6	1.8	5.4	93.1

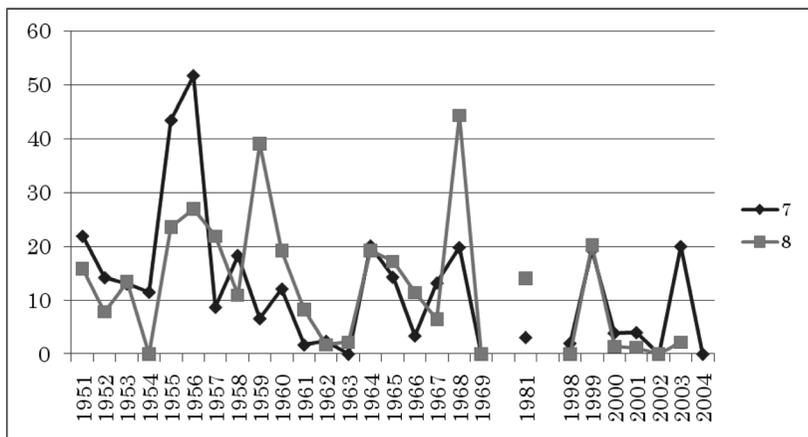


図2 インド気象庁 (IMD) によるレーの月降水量。1951-1969、1981、1998-2004年 (2004年8月は欠)。濃線は7月、淡線は8月。単位ミリ/月。

の月平均降水量資料 (www.worldclimate.com)<sup>4)</sup> を表2に示す。これによれば最多雨月は8月、年降水量は平均で93.1ミリである。その位置情報 (緯度経度) の精度からは、レーのどこで計測されたか詳細は不明であるが、標高3513mとのことから、我々のレー西部の地点 (LEDeG キャンパス、3582m) よりは若干標高が低いところで計測されたと考えられる (図4参考)。図2は、インド気象庁から入手したレーの月降水量を、7、8月についてグラフに表した。間に抜けがあるが、7月は平均12.2ミリ/月、標準偏差12.6ミリ、8月は平均12.6ミリ/月、標準偏差12.0ミリである。

## 観測データ

### ドムカル村 AWS データ

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<sup>1)</sup>。2010年10月のデータ回収時、これらすべての要素を無事観測出来ている。ただし CVS-WXT520 は、

降雨を雨滴による衝撃を測ることで推定するため、降雪を測定できない。ここでは、紙面の都合と目的の点から放射部分は割愛し、CVS-WXT520 による計測値の半旬平均、月平均値を提示する。

### AWS 月平均・半旬平均

表3に月平均した気温、湿度、気圧、降雨量、東西風、南北風を、2009年7月から2010年9月についてまとめた。また半旬 (5日) 平均値のグラフを図3に示す。風向風速は、風速と角度 (北風が0度、東風が90度) で与えられているが、角度のままでは平均風向を出せない。そこで、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、月平均、半旬平均値を計算したため、ここではU, V値として示している。また前稿<sup>1)</sup>で記したように、ドムカル谷は、ほぼ南北に向いており顕著な山谷風がみられる。午後から夜には谷風 (南風) 成分が、深夜から明け方には山風 (北風) 成分が卓越する。本稿で示すものは、そういった風向の日変化成分を相殺した平均場 (一般風) としての風速ベクトル (U, V) であることに注意されたい。また、前述のように、

表3 ドムカル上村 (Domkhar Gongma) のAWSによる計測値を月平均 (降水量は月積算) したものの。設置した Vaisala 社の一体型センサー (Vaisala 複合センサ CVS-WXT520) は、雨滴の衝撃により雨量を計測する原理のため、降雪時は計測出来ない。このため、灰色で着色した部分 (2009年10月~3月) は、欠測値である。2010年4, 5月についても降雪時は計測できないため過小評価している可能性がある。

年	月	気温 (°C)	湿度 (%)	気圧 (hPa)	降水量 (ミリ/月)	東西風 (m/s)	南北風 (m/s)
2009	7	13.3	40.0	642.3	11.27	0.28	-0.04
2009	8	15.7	32.7	643.5	29.88	0.42	-0.25
2009	9	10.6	32.1	645.2	9.12	0.28	-0.18
2009	10	3.3	31.3	644.7	0.04	0.12	-0.28
2009	11	-4.5	50.0	644.5	0.05	0.11	-0.48
2009	12	-8.5	52.7	642.7	0.03	-0.08	-0.74
2010	1	-8.4	52.7	643.6	0.08	-0.07	-0.59
2010	2	-8.2	64.3	640.2	0.07	-0.08	-0.26
2010	3	-0.8	44.6	644.8	0.37	-0.48	-0.59
2010	4	3.3	48.4	645.7	6.33	-0.96	-0.53
2010	5	5.8	51.4	644.4	35.77	-0.77	-0.57
2010	6	8.4	46.5	643.7	40.42	-0.71	-0.76
2010	7	14.5	40.4	643.4	3.21	0.15	-0.20
2010	8	14.8	53.0	644.5	74.35	0.36	0.03
2010	9	10.5	38.6	644.5	2.05	0.34	-0.07

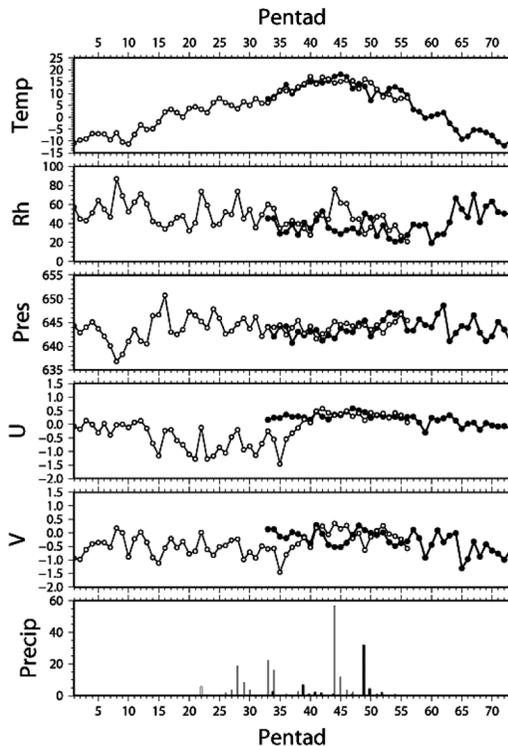


図3 2009年第33半旬 (6/10-14) から2010年第56半旬 (10/3-7) の半旬平均 (降水量は半旬合計) 気象要素。黒丸・黒バーは2009年の値を、白丸・灰色バーは2010年の値を表す。洪水イベントを含む半旬は2010年第44半旬 (8/4-8)。上から気温 (°C)、相対湿度 (%)、気圧 (hPa)、東西風 (m/s, 正は東向き)、南北風 (m/s, 正は北向き)、降水量 (ミリ/5日)。

降雪時は降水量を計測出来ないため、冬季の値は欠測(表3で灰色に着色した部分)であり、図3の降水量棒グラフ(図3最下段)でも55半旬～20半旬に目立ったバーが存在しないのは無降水を意味するものではないことに注意されたい。

図3のグラフから、2年分のデータがある第33半旬(6月10-14日)から第56半旬(10月3-7日)について、気温、気圧に、大きな差は見られない。目立つのは、ラダークが洪水を経験した8/5-7日を含む第44半旬から、46半旬にかけて2010年は相対湿度が高かった点、同期間風速南北成分(V)が南寄りであったこと、その期間降水が観測されていることである。表2から、2010年7月の降水は非常に少なく3.2ミリであること(2009年は11.3ミリ)、また洪水があった8月の降水は74.4ミリ(2009年は29.9ミリ)であることも読み取れる。

もう1点、2年分のデータを比較すると、第35半旬(6月20-24日)を中心に6月と7月前半の風成分が、2009年と2010年に大きく異なる点も指摘される。2009年6～7月データの報告時<sup>1)</sup>は風向のデータから西風、北風、南風の卓越する時間帯があり、設置場所の東側は山と近接しているため東風成分はほとんどみられないと報告した。また筆者がAWSを設置する際に、村長に卓越風向を聞いたところ、1. 南風(谷風)、2. 西風とのことであった。しかし、今回2010年6-7月の風はU、Vともに負、すなわち平均的に北東風が強いことを示している。ドムカルの谷は、AWSを設置したドムカル上村より少し上からは谷の向きが北東—南西になる。この谷沿い、北東風成分が強まるような大気循環場であったことが示唆される。現地の人によれば、2010年5月6日、「毎日よく雨が降る」とのことであった。第26半旬(5/6-10)以降の降水は確かに多く、表3に示したように2010年5月35.8ミリ、6月40.4ミリを記録した。

この2年の違いについては、2009年6-8月インド北部で対流活動が不活発、少雨であったとの報告もあり(気象庁異常気象監視速報 <http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/diag/sokuho/index.html>)、どちらの年が異常であったのかについては、少なくとも月以下の時間スケールで大気循環場を含めた解析が必要となる。

なお、前章で述べた降水量の気候値(表1)や振れ幅(図2)は、レー(インド気象庁地点)のものである。その地点の2009-2010年の観測値はまだ入手していないため、この2年の値が、気候値(平均値)や標準偏差に対してどうであったか統計的に示すことは今できない。また、ここで示したドムカル村のAWSデータや次に示す自ら取得したレー(LEDeG)の雨量計データはごく1、2年のデータしか存在しないため、普段の年に対して2009、2010年がどうであったかを論じることは今出来ない。

## 洪水時のデータ

### レーの雨量計

2010年8月6日未明のレー周辺の洪水の報道の中には(The Economic Times)<sup>6)</sup>「1時間に250cmを超える豪雨(cloudburst)が、経験したことのない洪水と土石流をラダーク中心部に引き起こした」というものがあった。これは、世界最多降水量の記録(42分間に305ミリ、130分に483ミリ、共にアメリカ)と比較してみても、誤りであることがわかる。しかしそれが、250ミリの間違いか、25ミリの間違いか、そしてどこでどの機関により計測されたのかなど、不明である。なおCloudburstとは専門用語ではなく、ほぼすべての場合シャワータイプの突然の豪雨をさし、非公式の基準としては1時間に100ミリ以上の降水をさす<sup>7)</sup>。また、日本の報道で使われる「集中豪雨」も、もとはマスコミ用語で、気象学的な厳密な定義はないが<sup>8,9)</sup>、「100km四方程度の地域に1時間に50ミリを超えるような強雨が降る」という記述がある<sup>9)</sup>。

これらをふまえ、レー西部のLEDeG campusに設置した雨量計のデータを見ていくことにする。表4は6月14日から8月11日の期間、0.5ミリの降水があった時刻の記録である。筆者(谷田貝)は2009年秋季から雨量計を設置していたが、データ記録装置の不具合などにより、2010年6月中旬の訪問時に自ら再設定するまでの期間のデータは残念ながら取得されなかった。2010年6月14日16時00分55秒に観測を開始し、最初の0.5ミリの降雨は、6月16日午前2時3分45秒に発生し、2回目は同日午前2時9分48秒に発生している。3回目は翌日の午前1時16分28秒なので、

表4 レー (LEDeG campus) に設置した転倒ます式雨量計で、0.5 ミリの雨量が計測された時刻 (例えば8月6日未明の豪雨時は、0時13分に41回目、1時13分6秒に73回目が記録されている。)

日付 MM/DD/YY	時刻 GMT+05:30	0.5 ミリ降水	日付	時刻	0.5 ミリ降水
06/14/10	16:00:55	0 (開始)	(続き)	(続き)	(続き)
06/16/10	2:03:45	1	08/06/10	0:14:23	43
06/16/10	2:09:48	2	08/06/10	0:14:47	44
06/17/10	1:16:28	3	08/06/10	0:15:16	45
06/17/10	2:29:29	4	08/06/10	0:15:42	46
06/17/10	2:35:10	5	08/06/10	0:16:04	47
06/17/10	3:02:45	6	08/06/10	0:16:24	48
06/17/10	3:20:07	7	08/06/10	0:16:57	49
06/17/10	4:34:34	8	08/06/10	0:17:33	50
06/17/10	5:01:44	9	08/06/10	0:18:11	51
06/17/10	5:32:23	10	08/06/10	0:18:44	52
06/17/10	6:10:29	11	08/06/10	0:20:36	53
06/17/10	6:26:44	12	08/06/10	0:21:49	54
07/28/10	23:22:46	13	08/06/10	0:22:16	55
07/28/10	23:59:28	14	08/06/10	0:22:43	56
08/04/10	2:06:57	15	08/06/10	0:23:15	57
08/04/10	3:26:54	16	08/06/10	0:23:42	58
08/04/10	3:47:36	17	08/06/10	0:24:11	59
08/04/10	3:55:15	18	08/06/10	0:24:45	60
08/04/10	4:03:46	19	08/06/10	0:25:19	61
08/04/10	4:14:49	20	08/06/10	0:25:50	62
08/04/10	4:26:20	21	08/06/10	0:26:42	63
08/04/10	4:38:31	22	08/06/10	0:27:43	64
08/04/10	4:44:56	23	08/06/10	0:29:05	65
08/04/10	4:50:27	24	08/06/10	0:30:44	66
08/04/10	4:54:58	25	08/06/10	0:34:51	67
08/04/10	5:19:07	26	08/06/10	0:37:30	68
08/04/10	9:15:41	27	08/06/10	0:41:13	69
08/04/10	21:25:38	28	08/06/10	0:44:44	70
08/05/10	0:59:12	29	08/06/10	1:13:06	71
08/05/10	1:01:30	30	08/06/10	21:48:53	72
08/05/10	1:03:06	31	08/06/10	21:57:51	73
08/05/10	1:04:27	32	08/07/10	7:25:12	74
08/05/10	1:05:52	33	08/07/10	7:28:55	75
08/05/10	1:06:36	34	08/07/10	7:32:18	76
08/05/10	1:07:22	35	08/07/10	7:36:46	77
08/05/10	1:08:10	36	08/07/10	7:46:14	78
08/05/10	1:09:26	37	08/07/10	8:06:54	79
08/05/10	1:32:28	38	08/07/10	8:44:07	80
08/05/10	2:27:09	39	08/07/10	9:44:02	81
08/05/10	22:02:57	40	08/10/10	19:50:43	82
08/06/10	0:13:00	41	08/11/10	4:14:07	83
08/06/10	0:13:51	42	08/11/10	4:42:55	84
			08/11/10	8:49:05	(停止)

6月16日は2回すなわち0.5ミリ×2＝1ミリの降水が、時間でいえば10分足らずの間であったことになる。ここで夜間に降水が発生することがほとんどであることも表全体から読み取れる。6月17日未明に0.5ミリの降水があった後、7/28深夜まで降水は観測されていない。

そして8月4日午前2時ごろから9時16分までに13回の記録、すなわち6.5ミリの降水があり、それとは別に4日夜21時25分ごろ一度降った後日付が変わってから明け方2時27分までに計6ミリの雨が降った。レーが被災した6日未明については、5日夜22時2分57秒に一回(0.5ミリ降雨)あり(40)、日付が変わって6日0時13分0秒(41)、0時13分51秒(42)・・・と、6日

未明1時13分06秒(71)まで、まさに0時13分から1時13分の約1時間に31回の“0.5ミリ降水”が記録された。これはこの約1時間に15.5ミリの降水が観測されたことを意味する。これは上述の真偽のほどは定かでない報道による雨量<sup>6)</sup>と比べると明らかに少ない。また明確な基準はないとはいえ日本と比較してみても、1時間に十数ミリという降水量は豪雨というほどの数値ではない。ただし、(正確に同じ地点ではないとはいえ)レーの月降水量気候値が7、8月とも約10数ミリであることを考えると、たった1時間で平均月降水量を超えるオーダーの降水があったということは、現地では極端現象であったと言えるだろう。

ここで航空写真(図4)に目を移す。この雨量デー

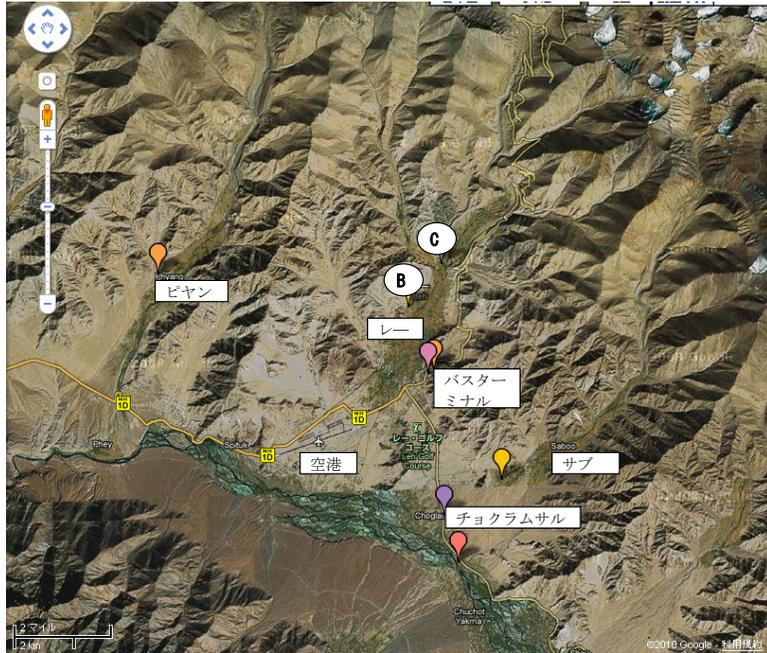


図4 レー周辺 Google Map 衛星画像に測器設置場所および洪水イベントの関連地名をプロットしたもの。B、Cは図1と同じ(B: LEDeG campus 雨量計設置箇所、C: LEDeG Gompa station)。表2 (GHCN 収集データ) や図2 (インド気象庁観測データ) は、緯度経度の精度から正確な位置は不明だが、位置情報(約 34.15° N 77.50° E 高度 3513m) から「B」と「空港」の間辺りと考えられる。

タを観測した LEDeG campus はレーの町の西部に位置し(図4の「B」)、レーの中心部と1~2kmの距離である。一方、レーおよびその周辺地区で最も被害が著しかったのは、そこから2.5kmほど南東のバスターミナルと、レーの南6kmのチョクラムサルや南東5kmのサブという地区であった。これら被災した2地区は、豪雨が引き金となった土石流災害により被災したと報告されているが、その引き金となった降水が、どの程度の降雨強度であったかは不明である。

一方、レー北部のゴンパ(Gompa)という地名のところ(図4の「C」)で、LEDeGも気象観測を開始している。今回その雨量計による雨量データも8/4-11日について入手した。ここでは6日未明から2時までの間に計7.6ミリの降水が記録されている。この8/6未明のイベントについていえば、標高の高いCのほうがBよりも降水が少ないが、次に述べるようにいつもその関係があてはまるわけではない。

レー付近では上述の1) 南東部バスターミナル(上流はレー北東部)、2) サブ・チョクラムサルおよび3) ピヤン(レーのひとつ西の谷、図4参照)で甚大な土石流被害が発生している。今回雨量データを計測したBやCに対し、1) や2) は東の谷、3) は西の谷である。土石流の引き金となった1), 2), 3) の地域あるいはそれらの上部の降雨がB, C地点より多かった可能性もあるが、地盤の状況や乾燥地の急斜面であることからB, Cと同程度の降雨強度で土石流が発生しないとも言えない。後に衛星による降水パターンも示すが、レーとチョクラムサルはわずか数キロメートルの距離であり、このような分解能で極めて短時間に発生する降水を検出するのは極めて難しく、実際(一時間に)何ミリ程度の降雨でラダークのような地域で土石流が発生するかを言うことは難しい。

## 8月4-8日の状況

今回の洪水被害状況の報告書 TATA assessment report<sup>10)</sup> および現地調査により、豪雨洪水災害は、レー周辺だけでなく、ラダークの多くの谷で発生したことが次第に明らかになってきた。図4のレーの西の谷であるビヤンも被災している。また本プロジェクトでAWSを設置したドムカル村も死者負傷者はなかったが、家を流されたり道路の一部が崩れたりといった被災をしている。レーからドムカルへ向かうインダス川沿いのラダーク山系南向き斜面の村々(図1のA-B間)は各地で豪雨が引き金となった鉄砲水や土砂災害が発生している。ただし、その日付は聞き取りをするうち

に、レーの被災(8/5-6の夜間)より一日前のもの、一日後に起こったものがあることが明らかになってきた。

このことは、乾燥地域、しかも標高の高い地域に豪雨をもたらす気象条件(不安定であること、多量の水蒸気が供給されること)が少なくとも数日は継続したこと、おそらくはシノプティック(天気図)スケール以上の空間的広がりをもった特異な大気循環場の特徴が背後にあったことを示唆している。ここでは、3か所(ドムカル上村、レー西部、レー北部)で計測された降水量データを比較し、広域の気象条件の解析は別の機会に報告することとする。

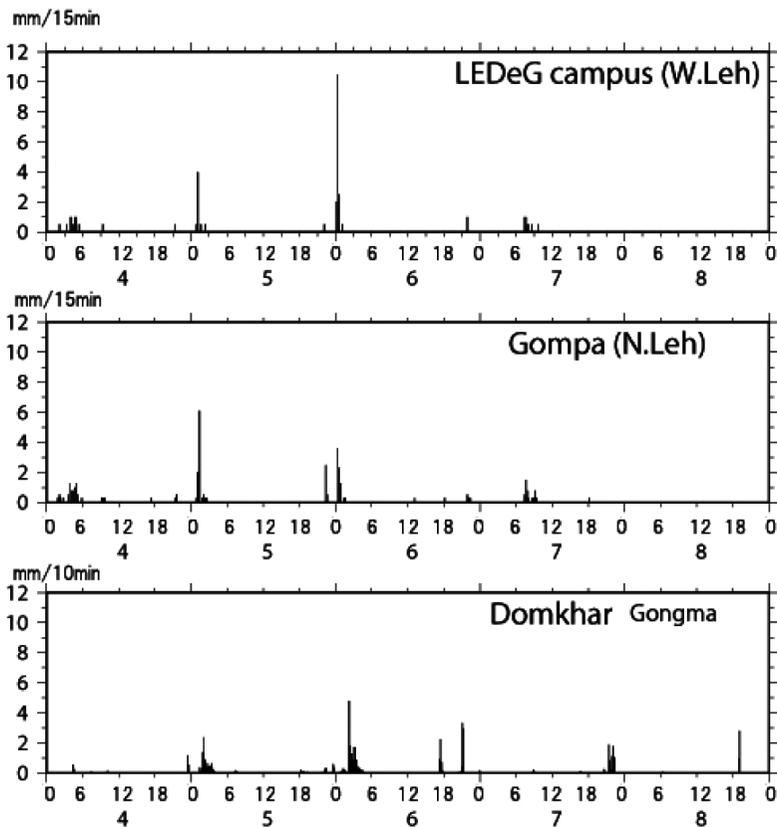


図5 LEdEG キャンパス (図 1-3 の“B”地点)、LEDeG Gompa station (図 2-3 の“C”地点)、ドムカル上村 (図 1-2 の“A”地点)における、2010年8月4～8日の降水量。単位は上図・中図は15分間の降水量(ミリ)、下図は10分間の降水量(ミリ)。各グラフ直下の0, 6, 12, 18は時刻(地方時)を、4-8は日付(4は2010年8月4日)を表す。

表5 レー西部 (LEDeG campus)、レー北部 (LEDeG Gompa station) に設置した転倒ます式雨量計およびドムカル上村のAWSの降雨量。8月洪水発生時(4～7日)の、正午から正午までの24時間雨量の比較。単位ミリ/day。\* LEDeG Gompa stationは4日0時から12時の12時間雨量集計値のため過小評価の可能性あり。ただし、レー西部は3日正午～深夜の降水は観測されておらず(0ミリ)、3日12時～4日12時の値(6.5ミリ)は、4日0時から12時の12時間雨量値に等しい。

2010年8月	レー西部 (LEDeG campus) 雨量計	レー北部 (LEDeG Gompa station)雨量計	ドムカル上村 (Domkhar Gongma) AWS
3日12時～4日12時	6.5	8.8*	1.3
4日12時～5日12時	6.0	10.9	12.0
5日12時～6日12時	16.0	10.8	19.2
6日12時～7日12時	5.0	6.5	11.7
7日12時～8日12時	0.0	0.3	8.8

図5は、LEDeG キャンパス(レー西部)、ゴンパ(レー北部)、ドムカル上村の降水量グラフである。LEDeG キャンパスの雨量計は表4に示したように0.5ミリ降雨ごとの時間情報であるため、適当な時間間隔で降水量を算出できる。ここでは比較のためゴンパ(レー北部)の測定間隔とそろえ15分間降水量の値を示すが、ドムカル上村は10分値を記録する設定のため、グラフは10分間降水量の値を示す。一見して、この3か所では、この8/4-6日の3日間、ほぼ同じタイミングで降水が生じている。ドムカルでも、「夕方降り始め、夜10時ごろ降りはじめ、深夜から明け方雷で目覚めた」といった住民の話を裏付けるように、AWSデータは、18時から降り始め、19時40分にいったん止み、22時から降り始め、ピークは6日午前2時20分ごろで朝5時まで降り続いたことを示している。

レー、ドムカルとも夜間に降水がみられるため、正午から正午の24時間降水量を比較したものを、表5に示す。レー西部では正午～正午の日降水量は、1) 8/5-6、2) 8/3-4、3) 8/4-5、4) 8/6-7の順に多い。レー北部は1) 8/4-5と2) 8/5-6はほぼ同じで、3) 8/4(AM)、4) 8/6-7が続く。ドムカルは、ラダークで洪水のあった3日では8/5-6、8/4-5、8/6-7という順でレー西部と同じであるが、その前後については8/3-4より、8/7-8が多い。ラダーク西部のドムカルやその西で比較的被害の大

きかった谷は8/7-8に家が流された報告がある。レー西部では降水が観測されなかったがドムカルでは比較的まとまった降水が7、8日にも計測されており、地域間の違いの解析にもこのデータは用いられそうである。

LEDeG キャンパスとゴンパでは、先述の6日未明のピークおよびその1時間あまりの降水量はLEDeG キャンパスのほうが多いが、そのほかの主な降雨イベントではゴンパのほうが多い。測器タイプが異なるため、厳密な比較は難しいが、レーの2か所では通常は北部のほうが西部より多いが、レーが被災した8/5-8/6に限っては、西部のほうが降水が強かったと言える。また、ドムカル上村とレーでは洪水が発生した8/4-5、8/5-6、8/6-7、8/7-8のいずれもドムカル上村のほうが降水が強

い。図6は参考のため、衛星から見積もられた降水プロダクトの1つであるCMORPH<sup>11)</sup>の8月6日0時頃の3時間降水分布を示す。ラダーク地域は降水がみられ、レー付近よりはドムカル村付近のほうが降水が強いことがわかる。しかしより細かい分布、たとえばレーの雨量計位置とチョクラムサルやピヤンとの違いや、たまたま雨量計は降雨をはずしていたのか、といったことはわからない。図6の例では、ドムカル村付近のピークの場合でも1時間に2ミリ～程度であり、AWSや雨量計の計測値ほどの値(1時間に十数ミリ)も示され

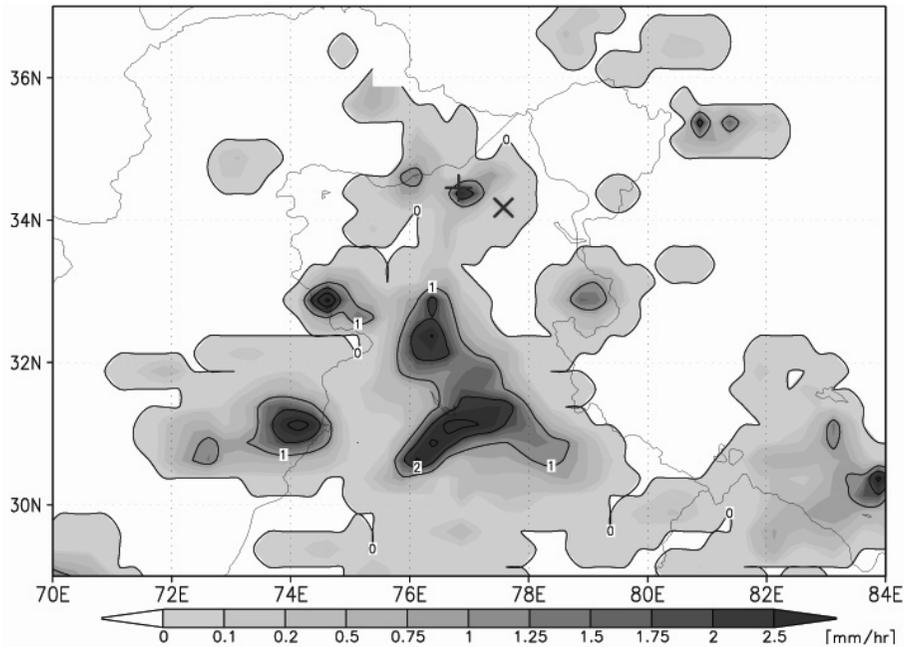


図6 衛星から見積もられたCMORPHプロダクト<sup>11)</sup>による8/5 18UTC(インド時間8月5日23:30頃)の降水分布(単位 ミリ/時)。+はドムカル上村AWSの位置を、×はレー西部(LEDDeG campus)の雨量計の位置を表す。

ていない。ただし、このタイプの衛星による推定データは豪雨などの極端現象をとらえるのには向かないことはすでに指摘されており、どこかで我々の計測した(一時間に十数ミリ)以上の降雨強度の降水があったかどうかは、依然わからない。この手法による降水量推定値はマイクロ波により雨量を見積もり、静止気象衛星による雲の動き(雲風ベクトル)の情報から高い時間解像度で降水量を出すものであるため、雲や雨の動き、時間変化を知るには都合がよい。今後の広域気象条件の解析には併用する予定である。

### 考察

筆者は2009年、2010年とも、1月、6月、9/10月に現地を訪問した。これは、同じ季節に訪問することで、現地の自然環境を、住民の話などを含めて調査し、データから客観的に得られることと、現地環境との関連について、イメージを膨らませたいと考えたからであった。2009年6月にAWSを設置した際に、「この時期こんなに曇ることは

ないのだが、温暖化のせいなのか。」と話す人があった。2010年6月は、「毎日毎日よく雨が降る。」という声をレーでもドムカル村でも聞いた。また、2010年6月は多雪のため、一部道路が封鎖され、予定した調査を延期せざるを得なかった(結果的に10月実施)。本稿後半は8月4-8日の洪水時の降水に焦点を絞ったが、図2に関する記述で少しふれた5月から6月にかけての両年の違いも、今後丁寧に解析する必要がある。2010年の5-6月の多雨と、8月前半の洪水災害の引き金となった多雨は同じ原因なのか、少なくとも要因の一つは共通なのかどうか。この点は今後の解析課題の一つである。

また、隣国パキスタンでは、2010年7月下旬から8月上旬の大雨により洪水が発生し大きな被害が出たことは世界的に知られている。乾燥地域に豪雨をもたらす気象条件は、通常と異なる大気循環場、水蒸気輸送・収束場があることが必要条件である。パキスタンとラダークで同時期にこのような災害が発生したのは、背景にある要因の少

なくとも1つは同じか結びついたものであると考えられる。また、2010年夏季の日本の猛暑や、ユーラシア大陸上の各地で起こった異常気象のいくつかにはつながりが指摘されている。この点も今後の解析の課題である。

今回自らが設置した気象測器に記録された雨量そのものは、レーやドムカルが被災した6日未明で1時間に10数ミリであり、報道されたほど大きい値ではない。前述のとおり報道された値がどの地点でどのような方法で計測されたのか不明であり、現時点でその値との比較は無意味である。雨量計計測値の得られたレーの2か所(西部と北部)は、土砂災害等の被害は発生しておらず、1キロ～数キロメートルスケールの局所的な降雨をとらえられなかった可能性はある。(土石流が発生した場所やその上部により局所的に降雨強度の高いところがあった可能性はある。)しかし詳細はわからない。

ドムカル上村のAWSは、レーの被災した夜を含む24時間に19.2ミリの降雨を、また4日昼～7日昼に50ミリ以上の降雨を記録した。この地点での気候値はないためどのくらい極端な事象であったかはここで述べられないが、ドムカル谷でも川の蛇行するところなどで側面の崖が削られたり、川岸近くで小屋などが流された形跡があり、この観測された程度の雨量で河川増水や水の勢いを増すことによる災害を引き起こした、と見ることはできる。

ラダークの洪水、土石流災害は、詳しくは災害調査の専門家による報告を期待するところであるが、少なくとも筆者(谷田貝)が現地で見聞きした範囲では、レー近辺(チョクラムサル、南東部バスターミナル、ピヤン)と、ドムカルを含むニモからドムカルの一つ西の谷では、災害の形は異なる。前者は、普段水の流れない河川や谷に水と土石流が流れたものであり、後者は、普段水の流れる河川の増水や土石流により川岸が削られたり橋が流されたりといった被害であった。さらにザンスカル山脈の南(図1下図“A”の南約80km)で同時期のある昼間に河川決壊が起こったと個人で撮影した動画も見せていただいた。災害の引き金という点では、深夜の1時間に発生する集中豪雨が脅威なのか、ひと晩あるいは数日にわたり降り続くことによる増水が問題なのか、今後地域に

より整理する必要があるだろう。

現地での聞き取りでは、「父祖の代から聞いたことのない豪雨、洪水であった」「自分の生きてきた中であのような大きな雨粒は見たことがなかったし、レーの自宅前の道が川となったのも初めてだ」「激しい雷で目が覚めた、雷光が非常に眩しかった」という声を聞いた。まれにしか起こらないことであるため、災害規模も大きくなり、人々の印象に強く残った面もあろう。厳密に統計的にどの程度の異常か(標準偏差の何倍か)という議論が出来ず残念であるが、父祖の代から聞いたことのない豪雨が、乾燥地域しかも高地であるラダークで発生したということと、5月ごろから例年にない状況がラダークで発生していたこと、隣国パキスタンでも多雨による洪水災害が同時期発生したこと、日本でも同時期かつて経験したことのない猛暑を経験したことが筆者らには関係があると思われる。調査中「地球温暖化で、こういうことは起こりやすくなるのか」という質問をたびたび受けた。広域的にラダークの洪水等の災害を引き起こした気象条件を調べ、それと地球温暖化との関連を調べることにより、その答えを見出したいと考えている。本稿で示したデータは、今後の現地住民や政策決定に携わるものはもちろんのこと、多くの研究者も関心を持つであろう。現在も高所プロジェクトの一環として続けられている気象観測が、現地の気象条件や環境理解と予測など多方面に用いられれば幸甚である。

## 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(3,800m a.s.l.)に設置した自動気象観測装置(AWS)は2009年6月9日から順調に観測を続けており、本稿ではその観測開始から2010年10月8日までの基本気象要素(気温、降雨、湿度、風向風速、気圧)について報告した。
- ・ 2009年、2010年の2年分のデータが得られている第33半旬(6/10-14)から第56半旬(10/3-7)で、顕著な違いは第34半旬を中心とした風向風速と、第44半旬を中心とした洪水イベント時の降水、南北風、湿度に見られる。
- ・ 報道されたラダーク洪水が発生した8/6未明

の1時間、レー西部のLEDeG キャンパスおよびレー北部ゴンパで降水が観測記録された。しかしそれぞれ15ミリ/時、7ミリ/時であり、報道されたほどの値ではなかった。レー周辺の被災地付近に非常に局所的な豪雨が発生し我々の雨量計でとらえていない可能性、乾燥した急斜面ゆえに一般的な豪雨というほどの量は降らなくても災害に結び付いた可能性の両方が考えられるが、現時点で詳細は不明である。

- ・レー、ドムカル村とも、降水は夜間に集中して発生している。8/4-5, 5-6, 6-7, 7-8ともドムカル上村(ゴンマ)の降水量はレーの2か所より多い。ラダークの洪水災害はレーの被災日(6日未明)より1日前と1日後のものが報告されている。降水量の点では、レー西部、ドムカル村とも5-6日未明、4-5日未明、6-7日早朝の点が多い。

## 謝辞

本研究は、平成22年度総合地球環境学研究所プロジェクト「人の生老病死と高所環境—3大高地文明における医学生理・生態・文化的適応」のもとにおこなわれた。ほかに環境省の地球環境総合推進費(B062)課題により部分的サポートを受けた。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、京都大学竹田晋也准教授にお世話になった。

## 参考文献

- 1) 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.
- 2) 谷田貝亜紀代：ヒマラヤ周辺の降水量の定量評価—気候値の作成—。ヒマラヤ学誌 2009: 10, 54-63.
- 3) Peterson TC, Vose RS.: An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bull. Amer Meteorol. Soc.* 1997: 78, 2837-2849.
- 4) WorldClimate: Climate Data for 34° N 77° E, LEH, INDIA (<http://www.worldclimate.com/cgi-bin/data.pl?ref=N34E077+2100+42034W> 2008年9月28日閲覧)
- 5) 気象庁異常気象監視速報：<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/diag/sokuho/index.html> (2010年12月10日閲覧)
- 6) The Economic Times: Calamity: Cloudburst in Choglamsar, Ladakh, <http://economictimes.indiatimes.com/news/politics/nation/Calamity-Cloudburst-in-Choglamsar-Ladakh/articleshow/6277615.cms> (2010年8月19日閲覧)
- 7) American Meteorological Society (AMS): Glossary of Meteorology 2nd edition 2000: 850pp. (<http://amsglossary.allenpress.com/glossary>).
- 8) 和達清夫：最新気象の事典, 225, 1993.
- 9) 吉野正敏ほか：気候学・気象学辞典, 231, 1985.
- 10) Tata Institute of Social Studies (TISS): Gyurja – Tiss Part II: Cloudburst and Flashflood of August 5, 2010 in Leh District. An Assessment of impact on 15 villages (Round 1) – Interim Report. 2010: 1-13. (available at Ladakh Autonomous Hill Development Council, Leh, <http://www.lahdcfloodresponse.net/> (2010年12月24日閲覧))
- 11) Joyce RJ. et al.: CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydromet.* 2004: 5, 487-503.

## Summary

### **Meteorological Observation in Ladakh, the Western Part of the Tibetan Plateau — General view and rainfall of the flood event in August 2010 —**

Akiyo Yatagai<sup>1)</sup>, Hisashi Nakamura<sup>2)</sup> and Takafumi Miyasaka<sup>2)</sup>

1) Research Institute for Humanity and Nature

2) University of Tokyo

A high-altitude project of the RIHN established an automatic weather station (AWS) at Domkhar (76.82E, 34.45N, 3808m) in Ladakh in June 2009. The AWS captured rainfall events in early August that caused flooding and mudslides in Ladakh. At the conference, we present 1) general meteorological features observed by the AWS, 2) time series of rainfall in early August, and 3) synoptic/continental scale circulation fields associated with 1) and 2).

There was flooding in Ladakh from 4 to 8 August. Our rain gauges in Leh and the AWS recorded mid-night rainfall for this period. The hourly rainfall at the peak time (0:13 – 1:13AM of 6<sup>th</sup>) in western and northern Leh were 15 and 7 mm/hr, respectively. They are not that much greater than rainfall reported in a local newspaper.

Large differences between the two summers were found in pentad 34 (5–9 June) and pentad 44 (4–8 August). In pentad 44, the precipitation, north–south wind and humidity differed for 2009 and 2010, with there being flooding in 2010. From 4 to 8 August of 2010, at 500 hPa level, moist air from the south are observed over Afghanistan, north Pakistan, and the western part of the Tibetan Plateau.