
滞 在 記

チベット高原の積雪

筑波大学大学院生命環境科学研究科 上野 健一

東京大学工学系研究科 筒井 浩行

冬季のチベット高原というと、強風が卓越する白銀の世界を思い浮かべる人もいるかもしれない。しかし、低緯度に位置する高原では冬でも日射量が極域に比べ格段に多く、ヤクや羊など家畜の放牧が日常的に行われている。チベット高原を第3の極と称する人もいるようだが、“極域”と気候条件が大きく異なることを忘れてはならない。同地域では氷河研究や気候系への積雪の影響評価などの雪氷研究は多く見られるが、高原平野部における積雪の動態や陸面熱収支への影響を解析した事例は実は少ない（例えば Sato 2001）。日中気象災害協力研究センタープロジェクト（通称 JICA プロジェクト）では、「チベット高原及びその東部周辺地域での気象観測データの量的・質的向上」と「これらのデータを効果的に取り込んだ中国国内の現業気象予測システムの強化」を目標とした研究を2005年12月から開始している。我々はその一環である第一期集中観測に専門家として参加し、チベット高原中央部に位置する那曲（ナチュ）市（緯度 31°27′ 経度 92°02′）に2008年3月6-18日の約2週間滞在した。期間中、那曲気象局および中国科学院寒区旱区環境工学研究所と共同で、郊外の草原にて土壌水分、地温、積雪被覆率といった陸面状態をほぼ毎日観測し、日4回のゾンデ強化観測データを分析した。滞在中の高原特有の積雪状態をお伝えする。

実は我々は2004年2月上旬にも、冬季の陸面状態を把握する目的で、高原北部のゴルム市からラサまで約1週間の現地踏査を行っている（Ueno *et al.*, 2007）。ここでの結果によると、積雪は薄く乾雪で、裸地と混在し、積雪と裸地では表面温度に非常に大きな差があることが示されてい

る。論文の中では積雪の再分配過程が陸面の加熱と積雪の残存の両者を可能にする事や、狭域における積雪被覆率の把握の難しさも論じている。積雪が乾燥し薄いと雪粒子と土粒子が非常に似た誘電特性を持つ。そのため、マイクロ波衛星観測では、積雪を透過し、その下の凍結した土壌情報も拾ってしまう。これらが高原上での積雪相当水量の推定を不確かなものになっているという意見もある（衛星による積雪観測の詳細は筒井（2007）を参考のこと）。2004年の積雪の状態は主に高原北方と標高が比較的高い山岳部周辺にて測定された。このような短期間の踏査で、本当に冬のチベットの積雪を不均一（パッチ状）と特徴づけてよいのか、この不均一性は降雪時に発達しているのか堆積後に強風で移動したのか、といった不確定さが課題として残された。

今回ラサ入りしたのは2008年2月28日で、運よく2月後半から3月初旬にかけ高原上に降雪が発生していた。3月6日にラサから那曲へ移動する際、4000 m 以上では行路沿いの殆どで積雪が見られた。さらに、3月9日に那曲からタン格拉山脈南麓へ踏査した時は那曲以北で殆ど積雪が見られなかった。つまりこれらの降雪は高原南部の山岳域を中心として発生し、那曲は積雪域の北辺に位置していたと考えられる。3月6日の旅程中、我々は車窓から周囲の積雪状態を一生懸命観察した。チベット版雪形ウォッチングである。たしかに、標高 6000 m を超える山々は真っ白な雪景色であった。しかし、広い谷間から稜線にかけては、微地形に応じて凹地に積雪がたまり、凸の部分は裸地が露出していた。これらの不均一のスケールは数 m ～ 数 100 m で、被覆率は 20 ～ 60 % と場所



図 1 当雄から北に 20 km 地点で東方向を撮影. 標高 4300 m 付近. 中央から右奥の遠方には積雲群が撮影されている.



図 2 3 月 15 日 11 時 (北京時間 11 時), 那曲市郊外の観測地点における陸面状態.

により変化したが, 明らかに全面積雪とはいえない状態であった (図 1). また, 10 km 以上のスケールで見た場合, 北向き斜面ほど残雪が多い傾向がみられた. これらの積雪傾向は Ueno *et al.* (2007) の報告と一致し, 胸をなでおろした次第である. 基本的に降水量が少ないことが, 積雪と裸地の混在を引き起こす必要条件であることも再認識した. さらに興味深いことに, 午後になると山岳域から積雲が立ち上っていた (図 1 右奥). このような日変化を伴う積雲対流の発達は我々が滞在している期間中も頻繁に確認され, 那曲流域北部のアムドを訪問した際は対流雲に伴う降雪も確認した. 春先に高原上で対流活動が活発となることは過去の研究でも指摘されており (例えば Fujinami and Yasunari, 2001; Taniguchi and Koike, 2007), 積雪と積雲の共存が 3 月初旬に既に存在することを改めて現場で確認した. 春先は陸面状態・総観場ともに遷移期にあたり, このような対流活動がどのようなメカニズムで発生するかを, 現地データにて分析することも今回の JICA 集中観測の目的に入れられている.

さて, もう一つの課題であった降雪時の天候はどうであつただろうか? 滞在期間中, 午前中は風が穏やかな快晴だが北京時間 11 時頃 (現地時間で 9 時頃) から風が強まり, 周囲の山岳域で積雲の発達が見られる日変化がほぼ毎日卓越した. 気温は, 日中は 5-8 度まで上昇した. 3 月 8 日当初に約 40% であった観測地点の積雪被覆率は徐々に減少し, 積雪は 13 日にはほぼ消失した. パッチ

状の積雪は乾燥土壌に囲まれ, 狭域の地表面温度や土壌水分も非常に興味深い分布傾向を示したが, 詳細は学会にて発表していきたいと考えている. 特に強風が卓越した 11-12 日には積雪面積が急速に減少した. このまま降雪と遭遇する事無く帰国するかとやきもきしていた. ところが 15 日についてに念願がかなったのである. 朝起きるとホテル周辺の地表面はうっすら雪化粧をしており, 朝 9 時 (北京時間) で積雪深は 5 mm 程度の乾き雪. 降雪粒子は細かく 1 mm 以下の粒径. その後, 強度が強まり市内で約 3 cm の積雪を記録して 10 時過ぎに降り止んだ. 皆さんには笑われてしまいそうな量の少なさだが, チベットではれっきとした一降雪である. 降雪時は風が弱かったため, 自然状態の積雪も均一に堆積していると確信して現場へ向かった. ところが, 現場では既に西風が約 7 m s^{-1} と強く, 綺麗な白黒まだらの地表面上を乾雪が次々と吹き飛ばされている (図 2). この時点ではすでに青空が所々で見られ, 降雪は観測されていない. 気温は氷点下 4 度であった. 周辺の丘陵地帯の積雪もまだら模様の様相である. ゾンデデータによると上空のジェット気流は弱化しており, 雪を吹き飛ばした地上風は境界層の発達によるものではなく総観場による寒気移流と考えられた. 今回の事例では, 降雪は短時間のうちに既に地表面の凹凸に応じて不均一に堆積する事は明らかである. また, 市内の気象局圃場ではこのような不均一な積雪は発生していない事も認識できた.

翌日の積雪分布はどのようなものであったろうか？実は 15 日が我々の最後の観測となった。当日ラサで発生した混乱のために急遽 3 月の JICA 集中観測は中断されたのである。非常に残念であった。ホテルで軟禁状態の我々は、記憶が新しいうちに今まで現場で見た現象を本記事にまとめた次第である。中国側が独自に行った観測によれば翌日の積雪被覆率は約 30% であったとの事で、ちょうど観測を開始した頃の積雪分布に戻ったと考えている。ちなみに、図 2 を撮影した時点で裸地の表面温度は既に日射の影響を受け 0 度以上に昇温し、その上を乾き雪が移動している。このような非常に特異的な環境での再分配過程は興味あるところである。後日談ではあるが、その後我々は初のチベット高原鉄道を体験し、蘭州より北京に無事帰還した。車窓からみる春の高原はまた格別であった。

文 献

- Fujinami, H. and T. Yasunari 2001 : The seasonal and intraseasonal variability of diurnal cloud activity over the Tibetan plateau, *J. Meteor. Soc. Jap.*, **79**, 1207–1227.
- Sato, T., 2001 : Spatial and temporal variations of frozen ground and snow cover in the eastern part of the Tibetan Plateau. *J. Meteor. Soc. Jap.*, **79**, 519–534.
- Taniguchi and Koike, 2007 : Increasing atmosphere temperature in the upper troposphere and cumulus convections over the eastern part of the Tibetan plateau in the pre-monsoon season of 2004. *J. Meteor. Soc. Jap.*, **85A**, 271–294.
- 筒井浩行, 2007 : 積雪の衛星リモートセンシング. 雪氷, **69**, 169–184.
- Ueno K., K. Tanaka, H. Tsutsui, and M. Li, 2007 : Snow cover conditions in the Tibetan Plateau observed during the winter of 2003/04. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. **39**, 152–164.

(2008 年 4 月 7 日受付)