HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	中央アジア山岳地域における最近の氷河研究
Author(s)	奈良間, 千之
Citation	朝日克彦編, 平成25年度北海道大学低温科学研究所共同利用研究集会『氷河変動の地域性に関する地理的検討』報告書. 北海道大学低温科学研究所, 2014, iii, 46p., 26-29
Issue Date	2014-05
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/56269
Type	proceedings
Note	平成25年度北海道大学低温科学研究所共同利用研究集会『氷河変動の地域性に関する地理的検討』. 2013年6月17日-18日. 北海道大学低温科学研究所, 札幌市.
File Information	26.narama.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

中央アジア山岳地域における最近の氷河研究
Recent studies of glacier change in Central Asian mountains

奈良間千之（新潟大学・理学部）
Chiyuki NARAMA (Niigata University)

キーワード： 氷河変動，プロキシデータ，氷河災害，中央アジア
key words: glacier change, proxy data, glacier hazard, Central Asia

Ⅰ　晩氷期の急激な氷河縮小

中央アジアの天山山脈中央部に位置する，テスケイ・アラトー山脈のグリゴリエフ氷帽で，京都の総合地球環境研究所のイリプロジェクトが 2007 年にアイスコアを採取した（竹内，2012）．アイスドリルは 87m で氷河底に達し，最後に引き上げられたアイスコアの先端には土壌が付着していた．土壌の放射性炭素年代はヤンガードリアス初期の 12,500 年前を示し，ベーリング・アレレードの温暖期に発達した土壌であると推定される．この土壌の存在は何を意味するのか？それは，土壌が発達した 12,500 年前の氷河底（標高 4500m 地点）に氷河は存在しなかったことを意味する．この結果から推定された当時の氷河面積は，現在から 43%の氷河面積が消滅した状態であった．中央アジアの天山山脈中央部において，ベーリング・アレレードの温暖期は現在よりもかなり暖かい気候環境であったことが考えられる．南半球で氷河が拡大した Antarctic Cold Reversal（ACR）の寒冷期に，北半球の中央アジアでは氷河が現在よりも縮小するという温暖期であった．これは気候の南北の逆転現象（バイポーラーシーソー）を裏付ける地上の記録である．また，温暖期の縮小過程の氷河は明瞭な地形的証拠を残さないので，温暖期の氷河面積の復元は貴重な情報である．さらに興味深い点として，この付近の氷河は最終氷期の Global LGM（Last Glacial Maximum）前後やハインリッヒイベント（H1）という地球規模の寒冷期に拡大したという報告がある（Narama et al., 2009; Zech, 2012）．LGM 前後には，イシク・クリ湖とバルハシ湖の水位が大幅に上昇しており（遠藤ほか，2012；奈良間，2012a），この時期に降水量が増加していた．最終氷期の LGM から晩氷期にかけて，H1 の拡大イベントの含め，わずかな期間に氷河は急速に縮小したことになる．

最近の研究では，中央アジアとヒマラヤ・チベットの山岳地域における最終氷期の氷河編年の違いは，インドモンスーンや偏西風の影響下の違いによるものと報告されている．しかしながら，インドモンスーン影響下のヒマラヤ地域でハインリッヒイベント（H1）やヤンガードリアス期などの地球規模の寒冷期の氷河拡大が報告されるなど，インドモンスーンの活発化が氷河拡大を引き起こしたというこれまでの見解と異なっており，まだまだ不明な点が多い（奈良間，2012b）．

Ⅱ 過去 1000 年間の環境変動と人々の暮らし

中央アジアで大きな環境変動が過去 1000 年間に生じていたという証拠がアラル海の湖底コア分析により報告された．1960 年代からの自然大改造計画で，アムダリアとシルダリアの流域に建設された灌漑用水への過剰な取水の影響により，アラル海への流入量が減少した結果，世界第四位のアラル海の面積は急激に縮小した．現在も縮小の一途をたどり，大アラルへの流出を止めた小アラルと大アラルの西湖盆に水が残るのみである．湖底から採取されたコア分析（塩分濃度と電気伝導度）の結果から，アラル海の水位は 13 世紀に急激に減少し，当時の面積は 1960 年代の水位よりも 22m 低下した 2002 年時の面積とほぼ同じであったと推定されている．キルギスタンの標高 1606m に位置するイシク・クリ湖の湖底（水深 3～6m）には，沈水した集落が点在する．これらは 10～14 世紀頃に発達した集落であり，この時期にイシク・クリ湖の水位は低下していた．現在のイシク・クリ湖の西側には，湖と合流せずチュー平野に向かって流れるチュー川がある．旅人が描いた 17～19 世紀の古地図には，イシク・クリ湖とチュー川が接続しており，イシク・クリ湖から湖水がオーバーフローしてチュー川へ流れていた．湖水がチュー川へ流れるには，水位が現在よりも 14m 上昇しなければならず，古地図が描かれた小氷期の 17～19 世紀には，湖水位は上昇していたようである（奈良間，2012a）．小氷期の湖水位の拡大は，アラル海やロプ・ノールでも古地図や旅人の記録から示されている．中央アジアの主要な湖では，過去 1000 年間の前半に水位が低下し，後半に上昇することから，中央アジアの湖水位変動は同調していた可能性が高い．クンルン山脈のグリヤ氷帽から採取されたアイスコアで復元された涵養量は，過去 1000 年間

の前半で比較的少なく，小氷期の後半に増加するなど，湖の変動と一致している．さらに，小氷期には天山山脈やパミール・アライの氷河は大きく拡大している（Narama et al.，2006；奈良間ほか，2010）．この地域では，16～17 世紀の氷河前進は，19 世紀の氷河前進を上回っている．

総合地球環境学研究所のイリプロジェクトでは，グリヤ氷帽の涵養量と天山山脈のグリゴリエフ氷帽の酸素同位体比変動をもとに復元された気温データを用いて，過去 1000 年間の氷河面積と氷河流出（坂井，2012），イネ科の面積変動（堀川ほか，2012）が復元されている．過去 1000 年間の氷河面積の最小期は，アラル海の湖水位が低下した 13 世紀であった．この時期は，チンギスハーン率いるモンゴル軍が征西遠征のためアルタイ山脈を超えた時期（西暦 1219 年）である．征西ルートはイネ科の分布する山麓部を通る．一方，乾燥期であったこの時期は河川沿いで集落の発達がみられ（カザフスタン遊牧研究所データ），灌漑農業が盛んであったことが推定される．降水量が増加した小氷期にはイネ科は山麓部から低地まで広がり，イリ川周辺では最後の遊牧国家であるジュンガールが発展する．この時期には河川沿いの集落はなくなり，遊牧都市が草原に分布する．この時期に広がったイネ科の分布と遊牧都市の分布はほぼ一致しており，遊牧という生業の割合が増加した時期であったといえる．これら結果から，年降水量や季節変化が大きくシフトする中央アジアでは，人々は農牧複合という生業の割合を変化させながら，環境変動に対して適応していたと考えらえる（奈良間，2012a）．中央アジアでの局地的な気候変動による水資源の変動は人間活動の生業にも大きな影響を与えていた可能性が高い．乾燥・半乾燥地域では将来的な水資源の予測は重要であるとともに，その適応方法は過去から学ぶことができる．中央アジアでは，流動形態（集団移動・生業形態）で適応していたが，現在はその流動性が失われているのが問題である．

Ⅲ　中央アジアの氷河の役割

乾燥･半乾燥地域の中央アジアでは，天山山脈は地域の人々に水を供給するウォータータワーの役割を担う．この地域では，近年の気候変化に対する水資源の変動が重要なテーマであり，将来的な氷河変動や流量変化の予測は課題の一つである．現在の地球規模の気温上昇による雪氷圏への影響は，中央アジアの天山山脈に分布する小規模な山岳氷河にもみることができる．天山山脈の主要部を構成する 5 つの山岳地域の氷河面積は，1970～2000 年にかけて 19～8%の範囲で縮小している（Narama et al.，2010a）．乾燥・半乾燥地域では，わずかな降水量変動でも干ばつが生じ，下流域で暮らす人々や灌漑農業に大きな影響を与える．その影響を緩和しているのが氷河である．中央アジアといえば，天山山脈やパミールやヒンドゥークシュなどの山岳地域が並ぶ．ウズベキスタン～キルギスタン～カザフスタン～中国北西部にまたがる巨大な山脈の集合体である天山山脈では，標高が 4000～5000m ほどの定高性のある山々が南北に連なる．天山山脈では，シベリア高気圧と偏西風の相互作用，さら地形配列効果により，年降水量と降水の季節変化が大きく変化する．低地は非常に乾燥しているが，山岳部では年降水量 700～600 ㎜に達し，山腹には森林が発達する．乾燥した低地に暮らす人々や灌漑農地で利用される水は，氷河の融雪水・融氷水を含む山岳部から供給される．小規模な山岳氷河は稜線付近に分布しており，水を得やすい山麓に発達する扇状地上には多くの都市が形成されている．

乾燥地域における氷河の役割は大きい．降水量変動による干ばつ年などは，涵養量やアルベド効果の減少により氷河の融解量は増加する．氷河流出を増加させることで，河川流量の不足分を補い，河川流量をある程度安定した状態に維持することができる．2005 年～2010 年にかけてアイランパ氷河上で融解量観測を実施した（奈良間ほか，2010）．算出したチョング・クズルスー流域の氷河流出量は，降水量の少ない年に増加しており，流量は前年と変わらず安定していた．このように，乾燥・半乾燥地域において氷河は流量調整の重要な役割を持つ．また，冬季～春季の降雪を貯蓄し，夏の融解期にその貯蓄をリリースする役割がある．灌漑農業は春から夏にかけて多くの水を必要としており，夏に多くの融氷水を供給する氷河は，乾燥地域の広大な灌漑農地を支えている．乾季が夏にあたる地域では，降水量が少ないにもかかわらず，流量が夏季に最大になる（坂井，2012）．これは氷河流出が大きく貢献しており，このような地域では氷河の水資源の位置づけが非常に高いと言える．近年の地球規模の気温上昇による氷河縮小により，氷河面積の減少による融氷水の減少や，早期融解が生じることが予想されており，山岳部の雪氷変動による下流地域への影響が懸念されている．

Ⅳ　近年の氷河変動と災害

氷河縮小の大きい天山山脈北部地域では，氷河からの融け水が溜まってできた小規模な氷河湖が氷河前面に多数出現している（Narama et al.，2009）．近年，これらの氷河湖が決壊して生じる氷河湖決壊洪水（Glacier Lake Outburst Flood：GLOF）により下流域ではその被害が報告されている．1998 年 7 月にギッサール・アライ地域で生じた GLOF では，流出量は少なかったが，犠牲者は 100 人以上にのぼった（UNEP,

2007)．2002年8月にパミールで生じたGLOFでは，小規模扇状地に位置するダシュト村は洪水堆積物で覆われ，24人の犠牲者をだした（Mergili and Schneider, 2011)．天山山脈北部地域のズンダン川上流では，2008年7月にわずか2ヵ月半で氷河湖が出現・決壊する短命氷河湖のGLOFにより3人の犠牲者がでている（Narama et al., 2010b)．2012年7月には，天山山脈北部地域に位置するアラ・アルチャ国立公園にあるテズトール氷河湖が決壊し，ビシュケクを含む上流の村々にくらす人々を混乱させた．

天山山脈の氷河湖の現状はどうだろうか？ALOSの衛星画像を用いて，氷河湖台帳を作成したところ，1600ほどの氷河湖（0.001km^{2}以上）を確認した．その分布は，氷河縮小が顕著な天山山脈外縁部（プスケム，イリ・クンゴイ，テスケイ地域）で多く，年降水量の少ない乾燥した天山山脈内陸部のアクシイラック，アトバシ，フェルガナ，コクシャール地域で少なかった．天山山脈の氷河湖のサイズは，0.001～0.005km^{2}のサイズが全体の7割を占め，巨大な氷河湖が分布する東ヒマラヤに比べるとかなり小さい．氷河湖サイズが違う理由として，東ヒマラヤでは，巨大な氷河湖は岩屑被覆氷河の氷河上湖から発達する場合が多く，それら氷河湖は平坦な地形場に位置し，氷河の融解とともに拡大する．一方，天山山脈では，小規模な山岳氷河が形成するモレーンは小規模で，氷河が分布する稜線付近の急傾斜な山岳斜面の地形場は巨大な氷河湖を生み出す空間がない．さらに氷河湖を堰き止めるモレーンは，小氷期後半～1900年代前半に形成されたため，多量のデッドアイスを含んでいる．

氷河湖の下流部のGLOF災害の大きさを把握するため，天山山脈の15の氷河湖で湖盆図調査をおこなった．先行研究も含め，氷河湖の水深はすべて30ｍ以内であった．例外としてアクシイラック山脈のペトロフ氷河湖（水深80m）やイニルチェック氷河のメルツバッハ氷河湖があるが，東ヒマラヤでみられる水深100m以上ある大規模な氷河湖はわずかしかない．湖盆の縦断面図をみると，氷河と接している氷河湖では氷河側で急激に水深が深くなるという特徴がある．縦断面形から氷河湖内部に存在するモレーンは，ズンダン東氷河湖以外で確認できなかった．氷河湖の内部に過去に形成されたモレーンが水没されている場合，決壊しても排水される水は沈水したモレーンの高さまでであり，すべての湖水が流出されるわけではない．調査地の湖盆形は急激に水深が深くなるすり鉢状の形態のものが多く，最大水深はチョング・アイランパ氷河湖の26.7 ｍであった．

天山山脈では氷河湖の世代交代が早く，1980年代以降に出現した氷河湖が多い．天山山脈では2000年代でもGLOFが生じており，被害は土石流によるもので山麓部（川沿い，扇状地上）に限定される．自然災害とは，人間が暮らす場所で自然現象である誘因の発生があって生じるものであり，氷河湖という誘因の現象解明だけでなく，自然災害を軽減するための，誘因と人間活動の関係性を探る必要がある．

引用文献

遠藤邦彦・須貝俊彦・原口　強・千葉　崇・中山裕則（2012）：バルハシ湖の湖底堆積物からみる湖水位変動と環境変遷．窪田順平監修『中央ユーラシア 文明と環境の歴史1』，奈良間千之編「第一巻　環境変動と人間」，臨川書店．

堀川真弘・津山幾太郎・石井義明（2012）：過去千年間の植生復元．カザフスタン全域およびイリ河しゅうへんちいきにおけるイネ科草本植物の分布域の変動．窪田順平監修『中央ユーラシア 文明と環境の歴史 1』，奈良間千之編「第一巻　環境変動と人間」，臨川書店．

Mergili, M. and Schneider, J.F., 2011. Regional-scale analysis of lake outburst hazards in the southwestern Pamir, Tajikistan, based on remote sensing and GIS, Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 1447-1462.

奈良間千之（2012a）：中央ユーラシアの湖面変動からみる環境変化．窪田順平監修『中央ユーラシア 文明と環境の歴史環境史』，奈良間千之編「第一巻　環境変動と人間」，臨川書店．

奈良間千之（2012b）：氷河編年研究の展望― 南半球・アジア山岳地域の最近の事例―地学雑誌，121.

奈良間千之，藤田耕史，Duishonakunov, M.，梶浦岳，Ormov, C.，Daiyrov, M.，Usubaliev, R.，Abdraev, J.，Shatravin, V.（2010）：2006～2009年のチョング・クズルスー川流域における氷河融解量観測．オアシス地域研究会報 8(1)：97-104.

Narama, C., Okuno, M. 2006. Record of glacier variations during the Last Glacial in the Turkestan Range of the Pamir-Alay. Annals of Glaciology 43:397-404.

Narama, C., Kondo, R., Tsukamoto, S., Kajiura, T., Duishonakunov, M., Abdrakhmatov, K. 2009. Timing of glacier expansion during the Last Glacial in the inner Tien Shan, Kyrgyz Republic by OSL dating. Quaternary International 119:147-156.

Narama, C., Severskiy, I., Yegorov, A. 2009. Current state of glacier changes, glacial lakes, and outburst floods in the Ile Ala-Tau and Kungöy Ala-Too ranges, northern Tien Shan Mountains. Annals of Hokkaido Geography 84:22-32.

Narama, C., Kääb, A., Duishonakunov, M., Abdrakhmatov, K. 2010a. Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data. Global and Planetary Change 71:42-54.

Narama, C., Duishonakunov, M., Kääb,A., Daiyrov, M., Abdrakhmatov, K. 2010b. The 24 July 2008 outburst flood on the western Zyndan glacier lake and recent regional changes in glacier lakes of the Teskey Ala-Too range, Tien Shan, Kyrgyzstan. Natural Hazards and Earth System Sciences 10(4):647-659.

坂井亜規子(2012):過去千年間の氷河変動. 窪田順平監修『中央ユーラシア 文明と環境の歴史１』, 奈良間千之編「:第一巻　環境変動と人間」, 臨川書店.

竹内望(2012):天山山脈アイスコアからみる中央アジアの気候変動. 窪田順平監修『中央ユーラシア 文明と環境の歴史１』, 奈良間千之編「第一巻　環境変動と人間」, 臨川書店.

UNEP, 2007. Global Outlook for Ice and Snow, UNEP, 235 pp.

Zech, R., 2012. A Late Pleistocene glacial chronology from the Kitschi-Kurumdu Valley, Tien Shan (Kyrgyzstan), based on 10Be surface exposure dating. Quaternary Research, 77, 281-288.