

## 論文の内容の要旨

### 論文題目

**Late Quaternary evolution of the Kumkol Basin at the northeastern margin of the Tibetan Plateau revealed by tectonic geomorphology and the analysis of in situ cosmogenic nuclides**

（変動地形と宇宙線生成核種の分析に基づくチベット高原北東縁  
クムコル盆地における第四紀後期の地形発達過程の解明）

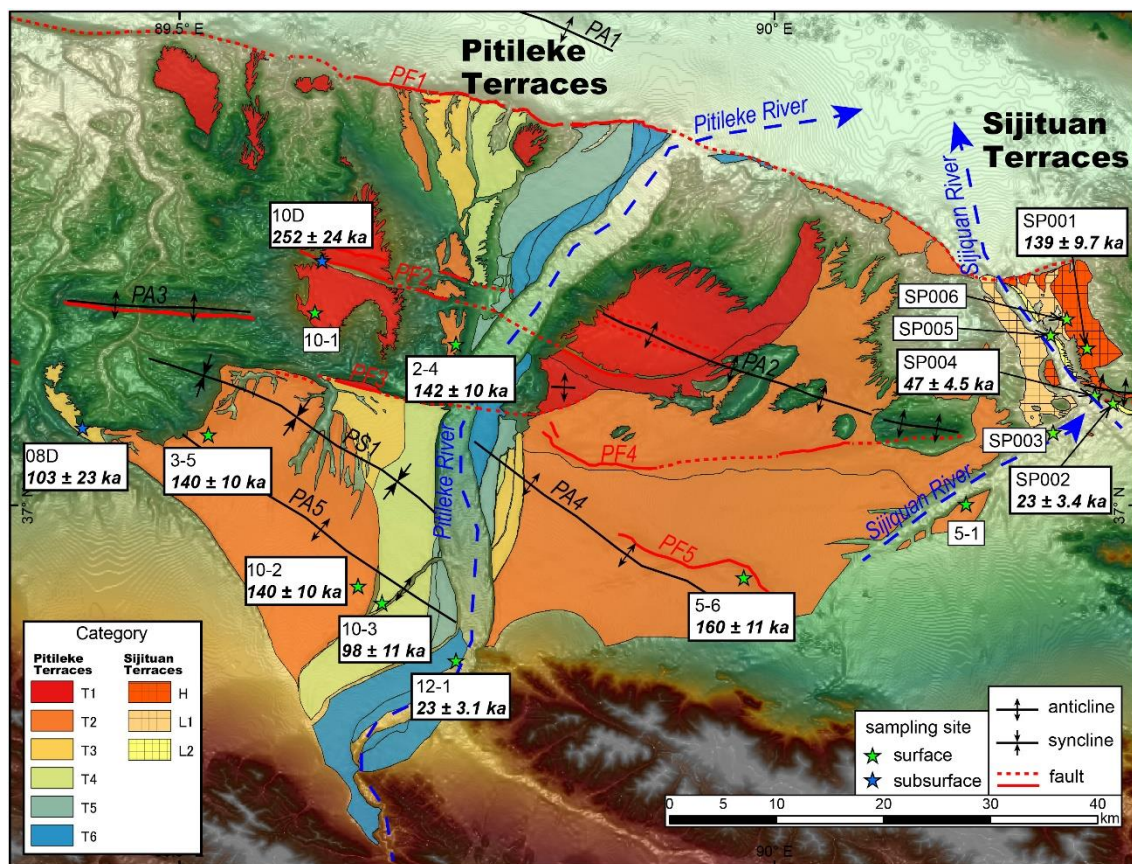
氏名 白濱 吉起

チベット高原はインドプレートとユーラシアプレートの衝突により形成された世界最大の山脈である。この高原は大陸プレートの衝突に伴う地殻物質の注入によって、体積を増大させてきた。チベット高原の上方への成長は、重力によって生ずる差応力が地殻物質の強度に達する高さで頭打ちとなるので、それ以降の山脈の成長（体積増加）は周囲の安定大陸を取り込んで山体を側方拡大させることによって生じているらしい。チベット高原の北東に位置する Qilian Shan, Altun Shan および Qaidam Basin に発達する多くの活構造は、従来チベット高原の成長に関係して形成されたと考えられてきたが、最近の研究によればその起源は古く、したがってチベット高原の側方拡大とは直接の関係が無い可能性が高くなった。

本研究では、チベット高原の拡大が現在生じていると見られる北東縁の地形境界を対象に、その変動速度を明らかにすること試みた。調査地域は、Qaidam Basin 南縁に位置する Kumkol Basin であり、そこでは波長 40 km を超える巨大な複背斜構造が発達する。この地域の変形速度を明らかにするために、変動地形学的な解析と宇宙線生成放射性核種を用いた表面照射年代測定を行った。また、この地表変形から地下の断層構造と、この地形境界を横切る水平短縮速度を推定した。最後に、これらの結果が拡大メカニズムに対して如何なる拘束を与えるかを考察した。

まず、Kumkol Anticlinorium の地形分類を衛星写真と地形データを用いて行った結果、この複背斜構造が南から北に向かって流れる二本の河川 (Pitileke River と Sijiquan River) によって下刻され、その河川に沿って連続的に分布する段丘面や扇状地を著しく変形させていることが明らかになった。高位の段丘ほど変形が大きいことから、この複背斜構造の変形は累積している。これは複背斜構造を構成する断層や背斜が継続的に変形していることを意味する。

次に段丘面の年代を定量的に定めるべく、われわれは二度の現地調査を行い、表面照射年代測定のために段丘面表層の堆積物を採取した。そのうち二箇所では深度別のサンプル採取を行った。その結果、東側の Sijiquan River 沿いに発達した Sijiquan Terraces から採取したサンプルの中で、現河床から採取した礫 (SP005) が低位の段丘面 (L2) から採取したサンプルの濃集量を超える大きい値を示した。また、Pitileke River 沿いに発達する Pitileke Terraces においても T2 面上の 2-4 地点から採取した礫がほかの T2 面上から採取した礫 (10-2 など) と比較して著しく大きい値を示した。これらの二つの地点については、各地点ともに 15 個の礫を測定し、その濃集量の分布を観察した。それらの  $^{10}\text{Be}$  と  $^{26}\text{Al}$  による二核種による分析の結果、SP005 に含まれる礫が埋没を経験したことを示し、基盤岩の第三紀の盆地堆積物が再移動したことを示唆した。一方、2-4 の礫は埋没を経験していないこ



**Fig. 1.** Geomorphological map of the Pitileke River and Sijiquan River drainage basins. Asterisks and attached number show sampling sites and estimated abandonment ages. Two ages at sites 10D and 08D are estimated by analyzing depth-profile samples. Eight sites (SP001, SP002, SP004, 3-5, 5-6, 10-2, 10-3, and 12-1) were estimated from amalgamated surface samples. The age at site 2-4 was based on grain-by-grain analysis.

とを示し、それらが上位の段丘面から供給された再移動堆積物であることを示唆した。これは堆積作用が卓越して広い堆積面を作る時期と、浸食作用が卓越し堆積面を下刻する時期が分かれていることを意味する。

次に、T1面とT3面の深度プロファイルから段丘面の年代と堆積時の濃集量を推定した。T1面の採取地点では表層60cmを近傍の断層崖からもたらされた斜面堆積物が覆っていた。この斜面堆積物の被覆を考慮するとT1面は173kaから380kaの間に離水したことが推定された。ここで、斜面堆積物の堆積作用を考慮し、一定の堆積速度を与えると、T1面の年代は $252 \pm 24$ kaと推定された。T3面については浸食速度を無視できるとし、 $103 \pm 23$ kaと推定された。そしてT1面の堆積物が示す堆積時の濃集量が極めて小さいのに対し、T3面の堆積物が示す値はその10倍程度大きく、かつ、ばらついた値を示した。T3面はT2面を下刻して形成されたと見られるため、下刻する際に再堆積物を多く取り込んだとみられる。これらの堆積時の濃集量についての結果を用いて段丘面表層のみから採取された礫から真の年代を求めた (Fig. 1)。このうちの堆積面であるH, T1, T2面が氷期に対応し、浸食が卓越する時期に形成されたと見られるT3, T4面は間氷期に対応していた。したがって、本地域では氷期間氷期変動による気候変動に従って aggradation と degradation が卓越する時期が変遷し、段丘面が形成されたようである (Fig. 2)。

次に、段丘面の隆起量と年代から Kumkol Basin の隆起速度分布を推定した。ここでは、現河床の河床縦断面形が気候変動により大きく変化しないと仮定して、段丘面の現河床からの相対高度を隆起量とみなした。段丘面の年代を精度よく推定できたT1面とT2面について、隆起量分布を隆起速度分布に読み替えると、Kumkol Anticlinorium の最大隆起速度はT1面で  $1.05 \pm 0.10$  mm/yr, T2面で  $0.96 \pm 0.07$  mm/yr を示した。

こうして得た隆起速度分布に基づき、Kumkol Anticlinorium の地下構造を推定した。本地域の地表変形は波長数十 km 以下である。地表変形を駆動する力源の深さは変形の波長に

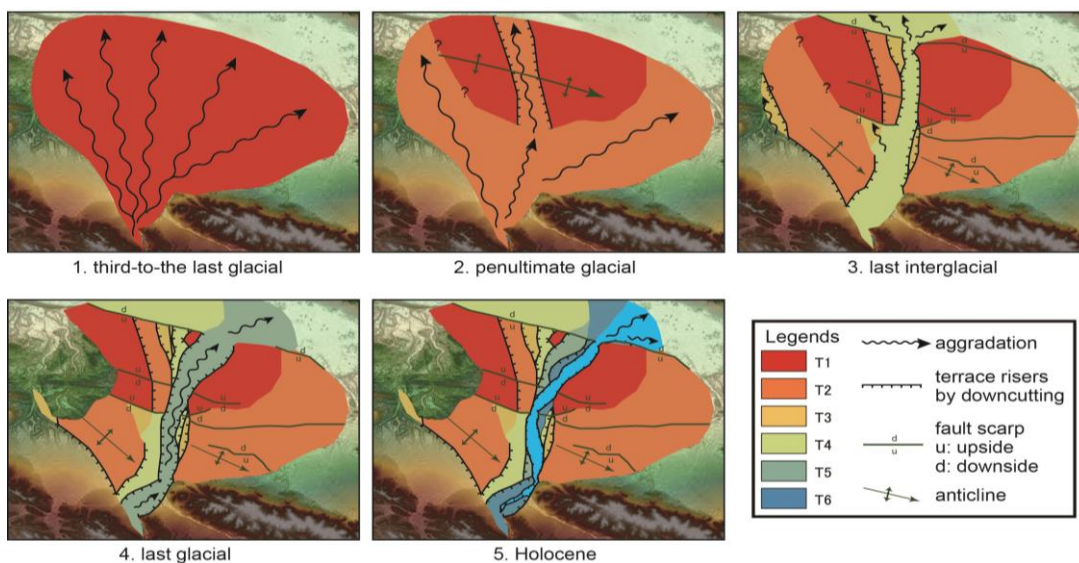
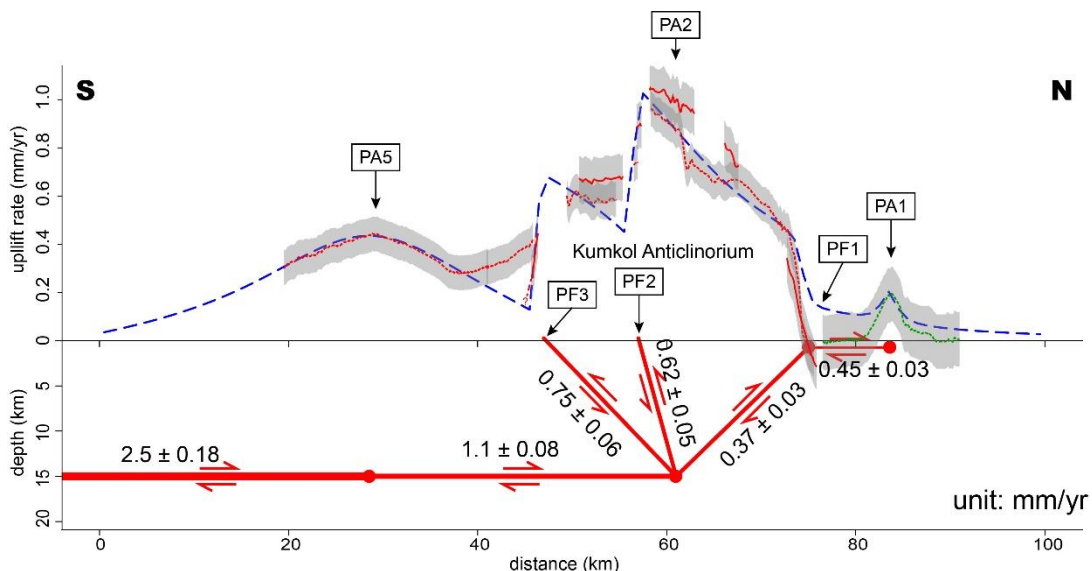


Fig. 2. Geomorphic development of the Pitileke drainage basin during the late Quaternary.



比例するから、一般に波長数十 km 以下の変形は地殻浅部にその原因を求めなければならない。このような浅部力源としてもっとも妥当なのは断層関連褶曲である。本研究では、Kumkol Anticlinorium とその周辺の褶曲構造が、地下に埋没するデタッチメント断層とそこから派生する二次的断層によって形成されるという拘束条件を仮定して、地下構造を推定した。デタッチメント断層の深さとすべり速度は、その先端部で生じる褶曲変形の波長と振幅によって推定できる。本地域の地表変形は、深さ約 10–15 km に位置するデタッチメント断層上に 2.5–3.2 mm/yr のすべりを与えることで説明できる (Fig. 3)。この結果から、Kumkol Basin には、脆性–延性境界深度に発達するデタッチメント断層から派生する地殻スケールの断層関連褶曲構造が存在し、それによって 2.5–3.2 mm/yr の速度で水平短縮していることが分かった。この短縮速度は GPS 観測による 5–10 mm/yr の短縮速度の 20–50%に相当する。

本研究は、チベット高原北縁の地形境界において、上部地殻内で活潑な水平短縮が起こっていることを定量的に明らかにした。チベット高原の下には低速度で流動的な下部地殻が厚く広がり、その北縁が地形境界に一致することが地震探査と電磁気探査によって明らかになってきた。また、チベット高原下の流動的な下部地殻物質が、外側の安定大陸地殻下に流入することによって、高原の側方拡大が生じるというモデルが近年提唱された。本研究で明らかにした水平短縮変形は、時代的にも位置的にも、チベット高原の側方拡大に直接関係すると考えられる。この変形を駆動した直接の原因は、地殻構造の急変に伴う応力集中と、地形の起伏がもたらす差応力であると推定される。しかし、応力集中で生まれたこの変形は、起伏の増大と流動的な下部地殻物質の伝播とを助長し、チベット高原の側方拡大現象に正のフィードバックもたらすと推定される。



**Fig. 3.** Projected profiles of uplift rates for T1 (red solid curve), T2 (red dotted curve) terraces, and the west fan (green dotted curve) in the playa. Grey colors show one-sigma errors. Blue dashed line shows surface deformation calculated by dislocation model. Red bold lines with arrows show the main detachment at 15 km depth and secondary thrust faults splaying from its leading edge. Slip rate of each fault is given in mm/yr.