

解析的手法による超長期的な地形変化の推定

鹿島建設(株) 正会員 ○羽根幸司 石橋正祐紀 田部井和人 升元一彦
JX 金属探開(株) 三箇智二

1. 目的

数万年以上の超長期的な物質移動の評価が必要となる地層処分事業においては、国内でも普遍的に認められる地殻・海水準変動等に伴い発生する隆起・沈降・侵食・堆積による地形変化を考慮することが重要と考える。そこで、本報では、既存情報が豊富な北海道の天塩川流域を対象として、沖積河川の表現モデルを適用し、超長期的な地形変化を解析的に推定する方法の開発・検討を行った結果を示す。

2. 解析手法

隆起・沈降を除けば陸域における地形変化は主に水の移動により誘発される。そこで本検討では特に河川の侵食・運搬・堆積による河床高の変化に着目した。この変化は、河川流量と河床勾配等の関係から評価される (Stream power model¹⁾)。河川モデルとしては山地河川を対象とする Detachment limited model¹⁾ と沖積河川を対象とする Transport limited model¹⁾ が提唱されている。後者は流入・流出する土砂フラックスの収支から河床高の変化を説明する方法であり、ある地点での標高変化は下流からの河床高変化の伝搬と、上流からの土砂フラックスの収支から推定される。本報で対象とする天塩川流域は、流域面積が大きく、全体に沖積域が広がることから、Transport limited model¹⁾ を基本とした Hergarten (2020)²⁾ で提唱された手法を用いることとした。

Hergarten (2020)²⁾ の手法は、Transport limited model を単純化し、標高、集水面積、勾配および Stream power model¹⁾ の定数項のみをインプットパラメータとした状態式を陰解法で解いている。陰解法を用いることで大きなタイムステップ (数万年など) での解析が可能であり、流域面積の大きな河川でも任意の地点における標高変化を一意的に決定することができる。また、本手法は地形変化を逐次的に評価することで、非平衡状態にある河川流域にも適用できる利点がある。一方、この手法は、上流部 (山間部) も河川として扱うため、上流部の侵食速度が大きく推定される難点がある。そこで、上流部を斜面域と仮定し、この課題を克服した。具体的には、上流部の斜面域の侵食速度は隆起速度の 1/2 と仮定する非平衡モデルとし、国内で見られる山稜高度が上昇するモデルとした。なお、期間中に河口まで運搬された土砂の一部は、拡散モデルを用いて海域への堆積を模擬した。

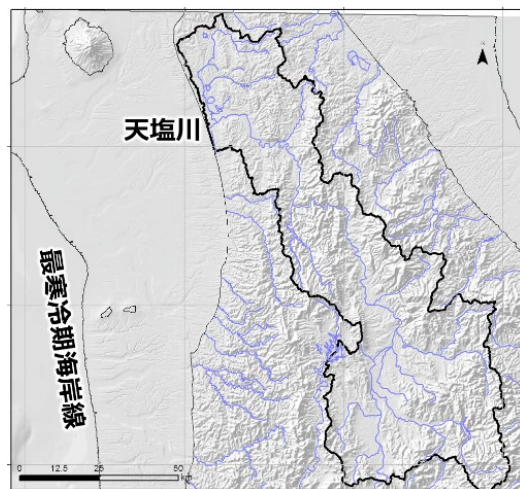


図-1 解析対象の地域と流域

3. 適用地域と河床縦断形および対象期間

適用地域は、図-1 に示す全天塩川流域を含む範囲 (2.6 万 km²) とした。天塩川沖合は遠浅であり、約 1.7 万年前の最寒冷期前後の海岸線は現在より 50~60km 沖合に位置したと推定される。解析期間の海水準変動は過去の気候変動 1 サイクル (12.5 万年; 図-2) が将来も繰り返されると仮定し、各海水準の変化を逐次的に再現するために時間断面を 16 に分割し解析した。

なお、最寒冷期 (MIS2, MIS6), あるいは最温暖期 (現在,

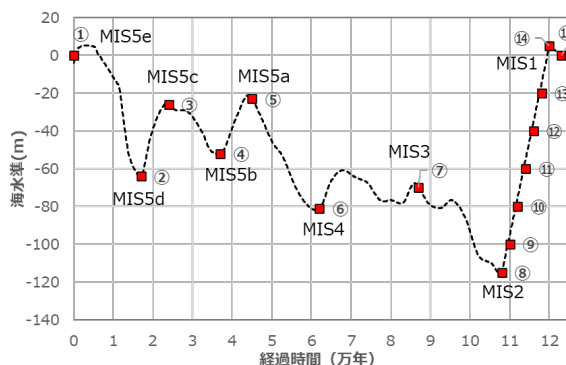


図-2 仮定した海水準変動と推定時刻

キーワード 地形変化, Transport limited model, 海水準変動

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL 03-5544-1111

MIS5e) など海水準が類似する時期の河床縦断形は、地殻変動量の補正によりほぼ一致するとされる³⁾。この特徴を活用すると、推定する 10.8 万年後の最寒冷期の河床高分布は、過去の最寒冷期の沖積層基底深度（約 1.7 万年前）と類似すると考えられる。そこで、本手法の妥当性の検証として、10.8 万年後の地形と沖積層基底深度を比較することとした。

4. 適用結果とまとめ

図-1 に示す現在の地形に比べ、図-3 に示す 10.8 万年後の推定地形は河川による浸食・堆積など天然の河川の特徴を保持して評価できていることが分かる。

次に、約 1.7 万年前の最寒冷期の河床標高（試錐調査より推定された沖積層基底深度⁴⁾）と推定した 10.8 万年後の河床標高を図-4 に示す。なお、沖積層基底深度分布の、ハッチ・白丸で示した河口から約 8,000～約 12,000m、約 16,000～約 17,000m の範囲については、試錐孔で沖積層を捕捉できておらず、周辺データから推定されたため不確実性の高い範囲である。図-4 のハッチの範囲を除けば、解析結果は約 10m 以下の誤差に収まっており、河川標高の変化については再現できていると考えられる。一方、河川横断形状については、実測値の不確実性（全ての沖積層深度が捕捉できていない）や、解析時の「メッシュ間の標高が同一の場合の河川中心位置のランダム性」、「河川勾配と幅の関係性に基づく河川幅の設定」といった不確実性があり、必ずしも一致するわけではないことが確認された。

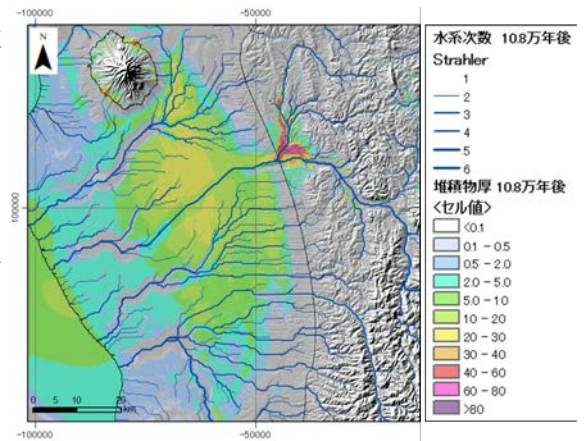
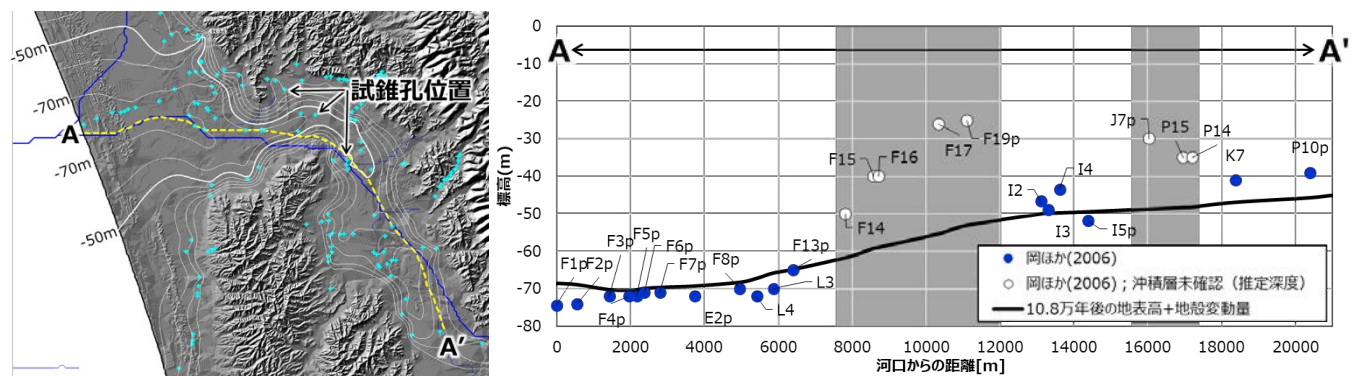


図-3 推定した 10.8 万年後の地形



現地形と解析結果（コンター表示）

図-4 河川縦断方向における沖積層深度と解析結果（地殻変動量補正後）の比較

5. まとめ

超長期の地形変化の解析的評価手法の検討として、北海道天塩川流域を対象に、Hergarten(2020)²⁾の手法について上流部を斜面域と仮定するといった改良を施した手法を適用した。その結果、河床標高については数 m 程度の誤差で精度良く評価でき、推定した本流・支流の河川地形は天然の河川の特徴を良く再現できていることが確認された。一方、河川横断形状については、実測・解析双方の不確実性があり、解析精度の評価が困難であった。

なお、本手法は任意時間断面の平衡性を仮定していることから、任意の時期のイベント（断層形成や火山灰の降灰等）の組み込みや、それに伴う河道や河床縦断形の変化なども評価でき、処分事業における様々なシナリオによる評価に適用できる可能性がある。

参考文献

- 1) Whipple, K. X. and Tucker, G. E.(2002) Implications of sediment-fluxdependent river incision models for landscape evolution, Journal of Geophysical Research, vol.107, pp.2039,.
- 2) Hergarten, S(2020) Transport-limited fluvial erosion - simple formulation and efficient numerical treatment, Earth Surface Dynamics, vol.8, pp.841-854.
- 3) 吉山昭, 柳田誠: 河成地形面の比高分布からみた地殻変動, 地学雑誌, 104, 6, pp.809-826.(1995).
- 4) 岡 孝雄, 五十嵐 八枝子, 林 正彦 (2006) ボーリングデータ解析および花粉分析による天塩平野の沖積層の研究, 北海道道立地質研究報告, 77, 17-75.