火星の巨大洪水流の数値シミュレーション：3次元モデルと地球上での検討

Numerical simulations of floodwater on Mars: validation test of the three-dimensional model on the terrestrial study

宮本 英昭 [1], 小松 吾郎 [2], 伊藤 一誠 [1], 登坂 博行 [1]

Hideaki Miyamoto [1], Goro Komatsu [2], Kazumasa Itoh [3], Hiroyuki Tosaka [3]

[1] 東大・工・地球システム, [2] IRSPS

[1] Geosystem Engineering, Univ. Tokyo, [2] IRSPS, [3] Geosystem eng., Univ. Tokyo

<http://www.geol.s.u-tokyo.ac.jp/~mhideaki>

火星のアウトフローチャンネルや地球のチャンネルドスケアブランド地域などは、巨大洪水流によって形成されたと言われている。ところが、洪水流自体がどのような地形を形成するか、実際に観察される地形がどの程度の流出率で、どの程度の水量が流れて形成されたか、定量的な研究はあまり行われていない。そこで本研究は、地下水と地表水をカップリングした計算手法による3次元の数値シミュレーションコードを用いて、洪水流の地形形成における役割を明らかにしようとしている。これまでに地球最大の洪水地形をモデルケースとしてコードの検証を行い、現実の被覆域を再現すると共に、流出量の見積もりが可能である事を示した。

近年の探査機による詳細な調査により、火星には液体の水が過去に存在し、幾度も流出した痕跡が残っている事が確認された。これは火星の地質学的活動度が低かったため、過去の河川地形が、長い期間保存されていたと考えられる。特にアウトフローチャンネルに代表される巨大な河川地形は、巨大洪水によって短期間に形成されたと言われている、大量の水の流出を示す証拠と考えられている(e.g., [1],[2])。しかし具体的にどれだけの量の水がどの程度の流出率で流れたのか、定量的な研究はほとんどなされていない。またそもそも洪水流自体、地球においても詳しく定量的に解析されているとは言えない。例えば、地球最大の洪水地形と言われる[3]チャンネルドスケアブランド地域においても、定量的な解析は、単純な2次元モデルでの流出率推定に留まっている。このように、カタストロフィックな洪水流が巨大な地形を形成することは定性的に知られているにもかかわらず、定量的な理解はあまり進んでいない。そこで本研究は、数値シミュレーションコードを用いることで、洪水流の表層地形形成への役割を、地球・火星を対象とした比較惑星学的な立場から理解しようとしている。

実際は3次元的に分布している流体の被覆部を2次元的に解析すると、事実と異なった現象を見てしまう事があるので(e.g., [4])、従来の2次元解析は必ずしも現実的とは言えない。特に川幅の大きく変化する洪水流の場合は、従来の流線に沿った2次元解析の適用には無理があり、3次元モデルが必須であると考えられる。また、広域を被覆する流れにおいて、地下水の挙動と地表水の挙動を切り離して考えることは現実的ではないかもしれない。特に火星への適応を考えると、地下水の役割は重要となる。ところが従来、地下水と地表水の解析は個別に取り扱われてきた。これは、地下水は多孔質体中をダルシー則に従って流れるとし、地表水はマニング則に従って流れると近似するために、方程式系が異なってしまうからであった。そこで[5]の手法を用いて、マニング則に基づく地表流の方程式からダルシー流と同形式の近似式を導き、地下水流れを扱うシミュレーションコードに整合的に結び付ける定式化手法を用いて計算することにした。

本講演では、地球上における洪水流の計算を通じて、モデルの検証を行った結果を報告する。地球上で火星の洪水地形に最も酷似していると言われる地形は、チャンネルドスケアブランドと呼ばれる面積約4万平方キロメートルの地域である。この地域は、西部をカスケード山地、北部をオカノガン高地、東部をロッキー山脈に、南部をブルー山地に囲まれた低地で、中新世に噴出したコロンビア川玄武岩によって覆われている。その表面には、巨大なひっかき傷のような跡があり、これが洪水流の痕跡と言われている。アイダホ州北部に存在したと言われる氷河湖(ミズーラ氷河湖)の水位が上昇し、臨界値を超えることにより、氷河湖壁が浮力によって上昇するか崩壊した。そして湖水が一気に放出されて、下流に大洪水が発生した、とされている。この洪水によって玄武岩台地を覆う黄土を侵食したため、この洪水の被覆域は現在もランドサット画像で黒く明瞭に確認することができ、古くから地質学的な研究がされている(e.g., [6])。従来の2次元解析により、氷河湖崩壊地域における洪水流の流出率は $1.7 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{s}$ であったといわれている([7])。そこで流出率をこの値に固定して計算を行ってみた。ところがその結果、洪水はコロンビア川を北上してしまい、Spokane以南をうまく被覆できなかった。このことは、コロンビア川玄武岩台地の北部に存在した氷床が、数値地形図に表現されていないと考えられる。そこで当時の氷床の推定被覆域を参考にして氷河の壁を作った上で計算を行った。この結果、実際の形状(洪水流の被覆域)をモデルによってうまく再現できることがわかった。現在は予備的な計算を行っている段階であるが、洪水の供給時間(すなわち、供給量)に、被覆域の形態は大きく依存することが明らかになった。この事は従来見積もる事の出来なかった洪水流の供給時間を、モデルによって制約可能である事を示唆していると考えられる。また、粗度係数にも被覆域の形態は依存する事がわかった。

[1] Baker and Milton, ICARUS, 23, 27-41, 1974; [2] Komar, ICAUS, 37, 156-181, 1979; [3] Baker and Bunker, Quaternary Sci. Rev., 4, 1-41, 1985; [4] Miyamoto and Sasaki, JGR, 103, 27489-27502, 1998; [5] Tosaka et al., submitted to Water Res. Research, 1999; [6] Baker, Science, 202, 1249-1256, 1978; [7] O' Connor and Baker, Geol. Soc. Am. Bull. 104, 267-279, 1992