

学 位 論 文 題 名

Systemic Glaciology: A New Theory of Glacier Evolution

(システミック氷河学：氷河変動の新しい理論)

学位論文内容の要旨

Glaciers play the role of a link in the global water cycle and as such are very important geographical objects, especially in the aspect of their reaction to the environmental disturbance in the context of Global Changes problem. In the theory of systemic glaciology developed in the present dissertation, glacier is considered from the points of view of general systems theory and cybernetics, as an open, self-dependent and evolving geographical system “that is more than just a sum of its parts”. According to cybernetical argumentation, glacier’s organization and evolution principles can hardly be deduced from the physical properties of its material components. Thus, study of functioning of such complex material formation as glacier at the level of the whole system shouldn’t be based on the analysis of exertion of fundamental physical laws within it, but on the analysis of its systemic properties. These organize different elements of lower hierarchical level within the system in a special way so as to get the result at the higher level – stable existence and functioning of the whole system. Taking this into account, traditional geophysical approach to glacier modelling can be simplified significantly.

It becomes possible to reject reductionistic consideration of complex physical mechanisms of glacier functioning and to replace it with simple cybernetic conceptual model of evolving glacier system. In this scheme, glacier is apprehended as a special kind of information processing machine realized in the geographical space, and the main principle of its organization consists in the homeostatic balance between englacial and external streams of information. Evolution process then can be described as switching between different modes of homeostasis, accompanied with appearance of new qualitative features of system. Such approach gives preferences in formalization and modelling qualitative evolution of glaciers, which is not solved in classical glaciology, and provides a basis for development of theory of systemic glaciology.

In the frame of this theory, two important laws of above-mentioned machine’s functioning and evolution were formulated: 1) *within some critical limits, mean velocity of information transport within a glacial machine depends linearly (as a first approximation) on its total information reserve*; 2) *the coefficient governing this dependence changes stepwise when the critical limits are passed*. Having formalized these laws and applied them to the real glaciers, the author translated them into the geophysical terms and deduced

the equation of main law of systemic glaciology for an embodied glacier. This law reflects the cybernetic organization of glacier at the macroscopic level and cannot be obtained in the course of geophysical theories considering the lower level.

Being theoretically obtained, the main law of systemic glaciology for an embodied glacier can be verified by empirical evidences. Observational data of 50 glaciers from different regions of the world show a piecewise-linear dependence between mean ice flow velocity and product of glacier mass, elevation of center of mass and mass balance gradient, as it had been predicted by the theory of systemic glaciology. This relationship was not noticed by glaciologists before. It is the the main discovery made in the course of the present research.

Further studies of action of laws of systemic glaciology and of their different consequences seem to be very prospective, especially in the light of recent progress in synergetics, metasystem transition and autopoiesis theories.

学位論文審査の要旨

主 査 助 教 授 成 瀬 廉 二

副 査 教 授 Ralf Greve

副 査 教 授 福 田 正 巳

副 査 教 授 和 田 充 雄

(北大大学院情報科学研究科)

学 位 論 文 題 名

Systemic Glaciology: A New Theory of Glacier Evolution

(システミック氷河学：氷河変動の新しい理論)

20 世紀中葉から大きな発展を遂げた氷河学は、様々な面あるいは視点で物理学や地球物理学を基礎としており、それらに立脚して構築された理論、関係式により氷河の観測事実は良く説明されることが多い。しかるに本研究では、氷河の諸現象を空間的にも時間的にも大きなスケールで眺めた場合は、物理学の積み重ねでは解釈できないとの立場から、新しい氷河学の理論を提唱したものである。そして、その新理論の妥当性は、世界各地の現存氷河のデータから検証された。

本研究で展開するシステミック(あるいはシステム論的)氷河学は、氷河を単に各部分の集合体として捉えるのではなく、氷河を複雑系システムとして扱い、自己組織的なシステム論およびサイバネティックス理論に依拠する。その結果、氷河マシンの機能と変動に関する2つの法則を導いた。

1)ある臨界条件内では、氷河マシンの情報輸送速度は、第1近似として、全情報貯蓄量に対し線形に変化する。

2)その線形関係の係数は、臨界条件を越える度に、階段状に変化する。

次に、この理論を氷河に適用させるため、次の関係を導出した。

「氷河の平均流動速度は、氷河の全質量、氷河末端から質量中心の高度差、質量収支勾配の三者の積に比例し、その比例係数は氷河規模に応じ段階的に変化する。」本関係の内、全質量と高度差との積は氷河の位置エネルギーに相当し、質量収支勾配は、海洋性氷河では大きな値、大陸性氷河では小さい値をとるので、氷河の動力学的特性を反映している。

本理論を検証するため、世界中の氷河地域から諸データが蓄積されている 50 の氷河を選び、平均流動速度と、全質量・高度差・質量収支勾配の積をプロットした。その結果、全データは数カ所で折れ曲がる直線で非常に良く近似された。最も規模の小さいグループは圏谷氷河や懸垂氷河、第2のグループは単純な谷氷河、第3のグルー

ブは 2、3 の涵養域をもつ谷氷河、第4のグループは多数の涵養域をもつ大氷河あるいは大氷原に相当することが明らかとなった。

本論文は、全5章から構成されている。第1章は序論、第2章は方法論の展開、第3章は異なる時間・空間スケールにおける氷河現象を記述し、議論している。第4章が本論文の主要部分であり、システム氷河学の新しい理論の提唱と、観測データによる検証を行う。そして、第5章にて結論を述べる。

以上のように、氷河の変動、進化にシステム論を適用して理論を構築し、議論を行った研究は、国際誌に発表された文献を見る限り、諸外国でも過去に行われたことはない。そういう観点からは、本研究は独創性が著しく高いと言える。

審査委員一同は、本研究のオリジナリティ、成果、将来の発展の可能性を高く評価し、また、大学院課程における学習、研究発表や取得単位などもあわせて、申請者が博士(地球環境科学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。