

# 実験と数値流体解析を統合した スポーツエアロダイナミクス解析システムの開発と展開研究

筑波大学 浅井 武  
(共同研究者) 同 洪 性 賛

## Research and Development for a Sports Aerodynamic Analysis System Based on an Integrated Experimental and Computational Fluid Mechanics

by

Takeshi Asai, Songchan Hong  
*Faculty of Health and Sport Sciences, The University of Tsukuba*

### ABSTRACT

In downhill alpine skiing, racers often exceed speeds of 120 km/h, with air resistance substantially affecting the overall race times. To date, studies on air resistance in alpine skiing have used wind tunnels and actual skiers to examine the relationship between the gliding posture and magnitude of drag, as well as for the design of skiing equipment. However, these studies have not revealed the flow velocity distribution and vortex structure around the skier. In the present study, we used computational fluid dynamics with the lattice Boltzmann method to derive the relationship between flow velocity in the full tuck position (the downhill racer's speed) and total drag. Furthermore, we visualized the flow around the downhill racer and examined its vortex structure. The results show that the total drag force in the downhill racer model is 27.0 N at a flow velocity of 15 m/s, increasing to 185.8 N at 40 m/s. Moreover, the visualization of the flow field indicates that the primary drag locations at a flow velocity of 40 m/s are the head, upper arms, lower legs, and thighs (including the buttocks).

## 要 旨

アルペンスキー競技のダウンヒルでは、最高速度が 120 km/h を超えることが少なくなく、空気抵抗が競技タイムに大きく影響を与えている。これまで、アルペンスキー競技の空気抵抗に関する研究では、実際のレーサーを対象に、実験風洞を用いて、滑走フォームと抗力の関係や、スーツを含むスキー用具のデザインが検討されてきた。しかし、レーサー回りの流速分布や渦構造は明らかではなかった。そこで本研究では、格子ボルツマン法を用いた数値流体解析により、クラウチング姿勢における流速（ダウンヒルレーサーの速度）と全抗力の関係を示した。さらに、数値流体解析によりダウンヒルレーサー周りの流れを可視化し、その渦構造を検討した。その結果、ダウンヒルレーサーモデルの全抗力は、流速 15 m/s が 27.0 N、20 m/s が 46.2 N、25 m/s が 74.3 N、30 m/s が 107.6 N、35 m/s が 144.7 N、40 m/s が 185.8 N となっていた。また、流れ場の可視化により、流速 40 m/s におけるダウンヒルレーサーモデルの大きな抗力の、主な発生部位は、頭部、上腕部、下腿部、大腿部（含む臀部）であると考えられた。本研究では、実験と数値流体解析を統合したスポーツエアロダイナミクス解析システムの開発を試み、アルペンスキーのダウンヒルレーサーの空力解析に適用した。実験精度の向上は勿論の事、数値流体解析の精度向上も大きな課題である。それと同時に、近年、急速に発展している、ビッグデータテクノロジーや人工知能（AI）テクノロジー等の最新テクノロジーとの連携、応用も今後の重要な課題の一つと考えられる。

## まえがき

アルペンスキー競技のダウンヒルやスーパージアアントスラローム等では、最高速度が 120 km/h を超えることが少なくなく<sup>1)</sup>、空気抵抗が

競技タイムに大きく影響を与えている。これまで、アルペンスキー競技の空気抵抗に関する研究では、実際のレーサーを対象に実験風洞（Wind tunnel）を用いて、滑走フォームと抗力の関係や、スーツを含むスキー用具のデザインが検討されてきた<sup>2-4)</sup>。しかし、風洞を用いた実験では、レーサーの全抗力は計測できるものの、身体各パーツの抗力分布を計測することは、極めて困難である。また、レーサー周りの流れを可視化して、その空力特性を検討するためには、風洞を用いた実験流体力学（Experimental Fluid Dynamics (EFD)）と共に、数値流体力学（Computational Fluid Dynamics (CFD)）を活用することが効果的である<sup>5)</sup>。とりわけ、レーサー各身体パーツの抗力分布を推定することは重要であり、CFD を用いることによって、効率的に実現可能になると考えられる。そして、レーサー周りの流れ場を把握し、その抗力分布を明らかにすることは、新たな滑走フォームやスーツを含むスキー用具のデザインの基礎を与えると考えられる。

そこで本研究では、実験風洞を用いた EFD と格子ボルツマン法（Lattice-Boltzmann method）を用いた CFD を併用して、クラウチング姿勢におけるレーサーの速度と全抗力の関係を示す。また、CFD により、レーサー周りの流れを可視化し、その渦構造を検討すると共に、レーサー各パーツの抗力分布を明らかにする。さらに、本研究で検討した、実験と数値流体解析を統合したスポーツエアロダイナミクス解析システムのアウトラインを示す。