

抗力係数の厳密測定法の確立

Method of precise measuring for drag coefficient

○宮崎朋洋¹, 菊池崇将², 村松旦典²*Tomohiro Miyazaki¹, Takamasa Kikuchi², Akinori Muramatsu²

Abstract: We suggest that constructing the empirical formula between the drag coefficient of a decelerating free-flight projectile launched by a ballistic range and the projectile deceleration rate derives the true value of the drag coefficient of steady-flight. In the ballistic range experiment, the drag coefficient is calculated from high-speed video camera images, whose low resolution causes error at reading pixel. To enable the selection of optimal imaging conditions on each experimental conditions, the influence of reading errors on the calculation of the drag coefficient was evaluated by the Monte Carlo method.

1. 研究背景

一般的に、定常流れの抗力係数 C_D の取得は風洞試験を用いるが、模型の支持干渉の影響が有り、模型周りの流れは厳密に正しくない^[1]。一方、弾道飛行装置実験では、静止流体中に飛行体を射出し、高速度カメラで撮影した連続画像から物体の減速を読み取ることで支持干渉の影響がない C_D を取得できるが、減速する影響より定常流れの C_D と一致しないと知られている^[2]。以上の要因より、2つの実験手法には欠陥があり、取得した C_D は真値とズレがあると考えられる。真値 C_D を取得することが本研究の目標である。

C_D は、レイノルズ数とマッハ数の関数で与えられる^[3]。風洞試験では、再現できる流速の範囲があり、レイノルズ数とマッハ数は独立設定できない。一方、弾道飛行装置実験では、模型が飛行する試験大気圧を変更することで、レイノルズ数とマッハ数を独立設定できる。弾道飛行装置で射出した物体の C_D と減速率に関する実験式を構築し、減速 0 を代入することで C_D の真値を取得できると考えている。

弾道飛行装置より射出された飛行体に働く力が空気抵抗のみと仮定した場合の運動方程式を式(1.1)に示す。

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\rho S C_D}{2m} v^2 = -\alpha v^2 \quad (1.1)$$

ここで、 m は飛行体質量、 ρ は流れの一流密度、 v は流れの速度、 S は飛行体断面積である。撮影画像から位置履歴を読み取り、式(1.1)を積分した式とフィッティングすることで、 C_D を得る。弾道飛行装置実験を用いて C_D を取得する場合の問題点として、Fig.1に示すように高速度カメラの画素数が低いことがある。國分^[4]は、弾道飛行装置実験から C_D の値を取得したが、同じ速度条件でも C_D の値にバラツキがあることを報告している。計測誤差が大きい場合、 C_D の変化を検出できない。高速度撮影において計

測精度の最大化は必要となる。計測精度の最大化には、実験条件ごとに最適な高速度撮影条件の選定と読み取り誤差が最小となる画像解析法の選定が関連する。計測精度を確保した弾道飛行装置実験から物体の C_D と減速率の関係性より、 C_D の真値取得をする。

本稿では、実験条件ごとの最適な撮影条件選定の為に、読み取り誤差が C_D 算出に与える影響をモンテカルロ法を用いたシミュレーションによる評価方法を示す。

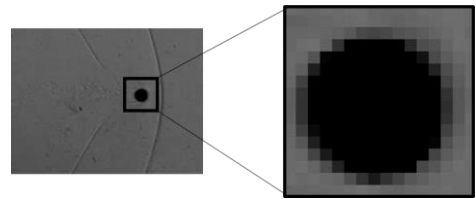


Figure 1 Visualized image

2. 読み取り誤差が C_D 取得に与える影響の評価

観測域を通過する飛行体を固定カメラで撮影する為、撮影条件や飛行体条件によって、飛行体を捉えた撮影枚数すなわちデータ数が変化する。データ数の大小によって、全体の読み取り誤差が C_D 算出に与える影響が変わると考える。撮影条件と飛行体条件によって画像読み取り誤差が C_D 算出に与える影響をモンテカルロ法を用いたソフトウェアを作成し、統計的に評価した。

評価概要をFig.2に示す。飛行体条件、撮影条件を設定し、飛行体位置履歴の真値を作成する。真値に対して、読み取り誤差として正規乱数を付加した飛行体位置履歴を作成し、 C_D を取得する。取得する C_D は加えられる正規乱数によって毎回違う結果となる。多数回繰り返すことで得られる平均値 C_D と設定した真値 C_D の差が読み取り誤差に起因したズレである。

モンテカルロシミュレーションを用いて収束条件と、試行回数の決定した。収束判定に用いた条件をTable 1,

1 : 日本大学・院 (前)・航宇 2 : 日本大学・教員・航宇

各条件での収束までの遷移を Fig.3 に示す. ケース数は 5000 回とした. 収束判定条件を, 式(2.1)に示す.

$$Convergence = \frac{|\overline{C_{DN}} - \overline{C_{DN-1}}|}{\overline{C_{DN}}} \leq 0.005 \quad (2.1)$$

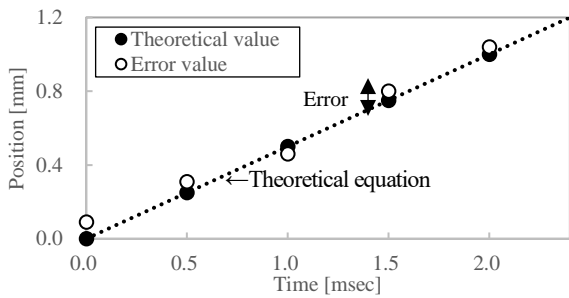
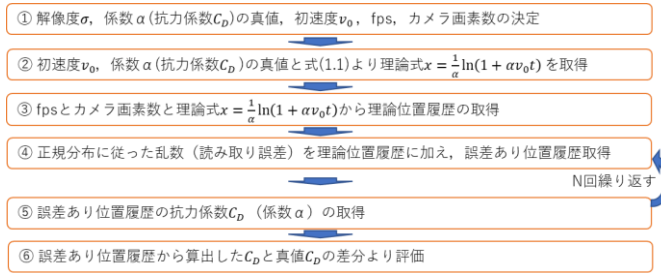


Figure 2 Verification by Monte Carlo method.

Table 1 Decision conditions.

No.	v_0	α_{true}	Frames	σ	Resolution
	m/s		fps	mm/pix	pixel
1	343.6	0.06	66666	0.65	400
2	343.6	0.10	50000	0.60	400
3	343.6	0.05	66666	0.30	400
4	343.6	0.14	100000	0.70	400
5	343.6	0.03	50000	0.50	400
6	343.6	0.01	100000	0.40	400
7	343.6	0.08	200000	0.20	400
8	343.6	0.12	40000	0.90	400

同じカメラ画素数, 同速度条件の場合, 解像度 σ が大きいと撮影範囲が大きくなり, データ数が多くなる. 解像度 σ が大きい, データ数が多い No.4, 8 は収束が速く, 解像度 σ が小さい, データ数が少ない No.3, 6, 7 は収束が遅い傾向がみられた. 全条件の収束の遷移より, 収束判定条件の式(2.1)を十分満たしている 2500 回をシミュレーション試行回数に決定した.

3. まとめ

- ・画像読み取り誤差が C_D 算出に与える影響を評価する為に, モンテカルロ法を用いたソフトウェアを開発した.
- ・モンテカルロシミュレーションの試行回数を 2500 回に決定した.

4. 参考文献

[1] L.E. Ericsson and J.P. Reding, “Transonic sting interference”, 17th Aerospace Science Meeting, 1979
 [2] G Jourdan, “Drag coefficient of a sphere in a non-stationary flow: New result”, Article in Proceedings of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences, 2007
 [3] A. B. Bailey, “Sphere Drag Coefficients for a Broad Range of Mach and Reynolds Numbers.” AIAA Journal Vol. 10 No. 11, pp.1436-1440, 1972
 [4] 國分智春 “音速近傍流れにおける衝撃波離脱距離”, 2017 年度卒業論文

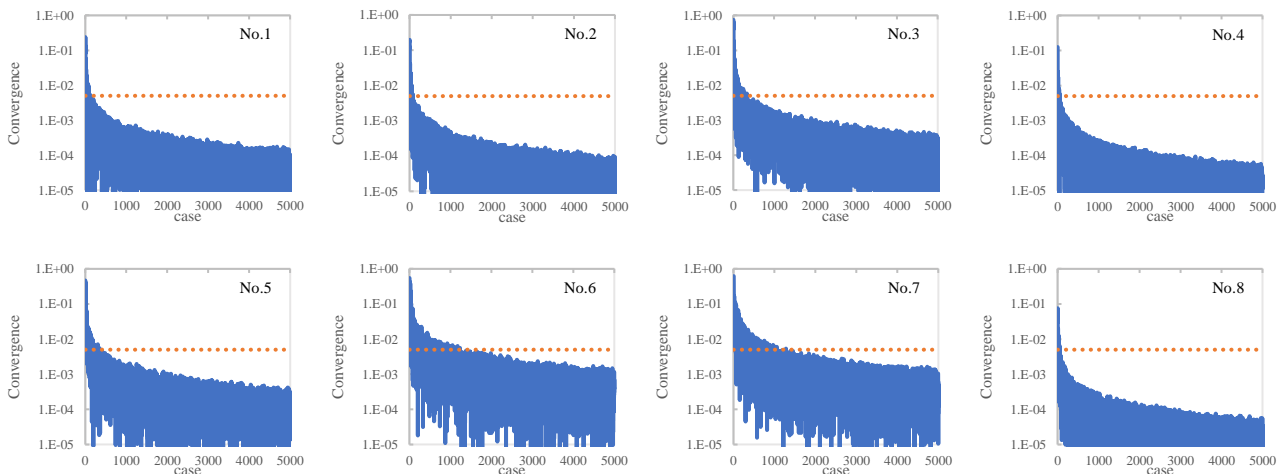


Figure 3 Convergence determination results(line : results, dotted line : Convergence determination border)