

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 8 月 21 日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究 B

研究期間：平成 23 年 4 月 1 日 ～平成 25 年 3 月 31 日

課題番号：23760773

研究課題名（和文）

物体に干渉する超音速噴流から発生する非線形空力音響波のデータマイニングによる理解

研究課題名（英文）

Clarification of nonlinear aeroacoustic waves from a supersonic jet impinging on objects with data-mining

研究代表者

野々村 拓 (NONOMURA TAKU)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 助教

研究者番号：60547967

研究成果の概要（和文）：本研究では、データマイニング技術を複雑流体音響場に適用し、音響波の自動的分類、音源探査が可能であることを示した。特に、斜め平板に衝突する超音速ジェットから発生する音響波の音源を特定し、その特性を明らかにした。この知見は今後のロケット噴流から発生する音響波の予測モデルに活用されるものである。

研究成果の概要（英文）：In this research, data-mining techniques are applied to complex aeroacoustic fields, and it shows that these techniques can be used for the automatic characterization of acoustic waves and the exploration of sound sources. Specifically, these techniques are applied to aeroacoustic waves from a supersonic jet impinging on an inclined flat plate, and its source position and characteristics are clarified. These insights are utilized for the prediction model of aeroacoustic waves from rocket plumes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：航空宇宙流体力学・空力音響学

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、本研究開始当初までにロケット噴流から発生する音響波の予測手法の研究を行なってきたが、ロケット噴流はロケット射場の地面など様々な物体に衝突し、複雑な流体音響場を形成しているため、そこから発生する音響波の音源位置、発生メカニズムを理解し、音響波の予測につなげることは非常に難しかった。このため、複雑流体音響場を容易に理解し、予測モデルの構築につなげる事が必要とされた。

2. 研究の目的

本研究では、複雑流体音響場の理解に、大量のデータから情報を抽出するデータマイニング手法を適用することで、複雑流体場の理解を深める方法論を構築することを目的とした。さらに本方法論をロケット噴流から

の音響波を模擬した、「物体に衝突する超音速ジェットから発生する音響波」に適用することで、その音源位置、メカニズム、音響波特性を理解することを狙った。本流れ場は先

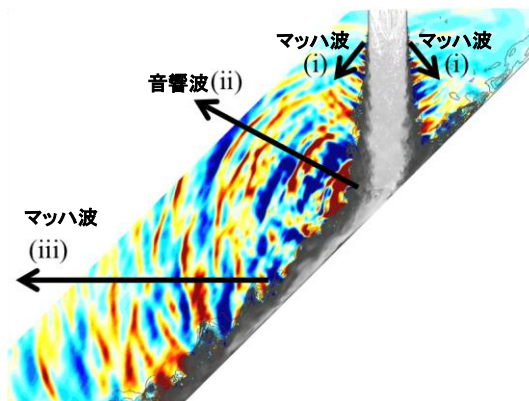


図1 先行研究による音響波の分類

行研究での主観的観測により、3種類の音響波（マッハ波 i, 音響波 ii, マッハ波 iii, 図1に示す）の発生が確認できており、本研究では特にロケットのフェアリング方向に発生する音響波 ii をターゲットに研究を行った。

3. 研究の方法

複雑流体音響場の大量のデータを数値解析および実験で得、そこからデータマイニング手法により情報を抽出した。

主たるデータは数値解析より得ており、その数値解析には、その一部を本研究の枠組みでも開発した、高解像度数値解析手法を用いた。本研究内で、その精度も合わせて議論している。同時に行った実験での結果は数値解析の補助として一部の議論で用いた。

対象となる流体音響データは平板の角度を変えた、「斜め平板に衝突する超音速ジェットから発生する音響波」および「曲面に衝突する超音速ジェットから発生する音響波」とした（図2）。

また、適用したデータマイニング手法は、「クラスタリング」、「固有直交分解」、「相関係数による流れ場全体の可視化」を用いた。

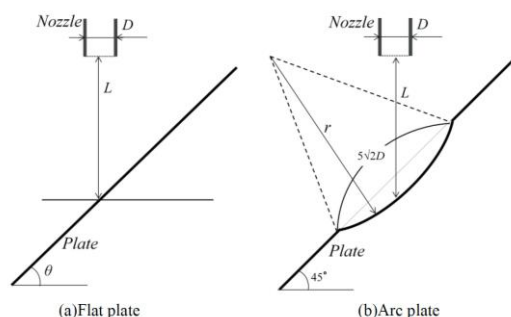


図2 本研究で取り扱う幾何形状

4. 研究成果

はじめに、前述のように、流体音響場の高解像度数値解析手法の開発および精度検証を行った。高次精度化かつ多成分気体の流体ソルバーを開発し、小型ロケットモーター（自由噴流状態）から発生する音響波の試験結果と比較した。ノズル出口から $75D$ (D はノズル直径) の位置での音響レベルの指向性を図3に示す。

本研究で開発した、流体ソルバーは音響レベルを 5dB 以内で音圧レベルを予測できており、音源位置、音源の強さ、指向性などの基本的な音響特性の理解には問題が無いことが明らかになった。

次に、問題を「斜め平板に衝突する超音速ジェットから発生する音響波」に設定し、データマイニング手法を適用した。

まず、自己組織化マップと K 平均法を組み

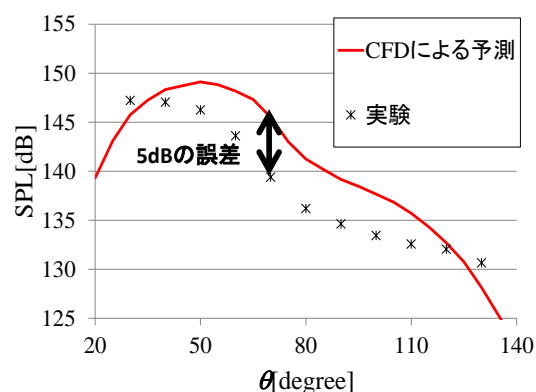


図3 検証計算での数値解析(CFD)の精度

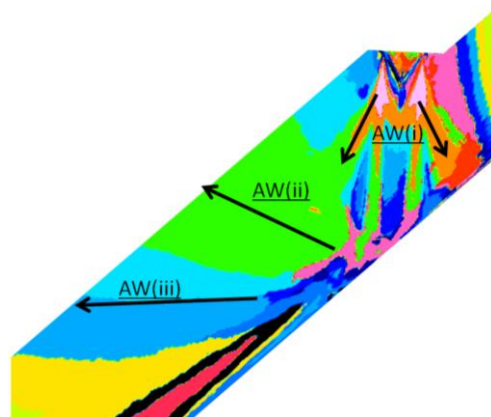


図4 音響波の無次元化スペクトルを基にしたクラスタリングの結果

合わせたクラスタリング手法を流体音響場の無次元化音圧スペクトルのデータに適用した。結果を図4に示す。図4のクラスタリングは主観的な音源の区別(図1)とほぼ同様のものであり、主観的に分類してきた音響波の分類が、音響波のスペクトルからほぼ自動的にできることが示された。本手法を用いることで主観に頼らず音響波の種類を分類、適切な理解に繋げられることが明らかになった。

さらに、固有直交分解を本問題に適用した。ただし事前検討により、通常の時間空間での固有直交分解はもとのデータを再現する際に、乱流成分のために非常に多くのモードを必要とすることがわかっていたため、ここでは事前にフーリエ変換を行う周波数空間固有直交分解を行った。結果を図5に示す。クラスタリングと同様に、音響波 ii とマッハ波 iii の存在が明確となった。音響波 ii の音源位置を見ると、2種類存在しており、斜め平板により生じたプレート衝撃波とせん断層の干渉部分、および衝突後の剥離渦起衝撃波とせん断層の干渉部分から発生していることが示唆された。本解析を用いることで、音源位置の特定、音響波の伝播パターンを明らかにすることができた。

最後に、音響波 ii との相関係数を流れ場全

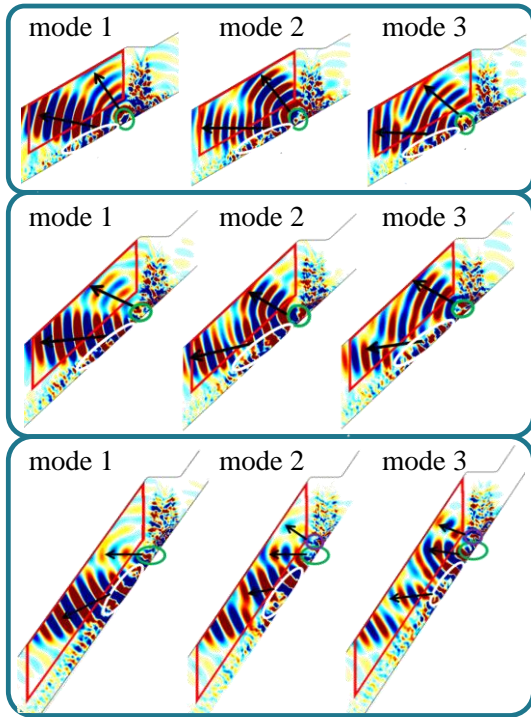


図5 周波数領域固有直交分解の結果
角度の異なるケースの主要3モード

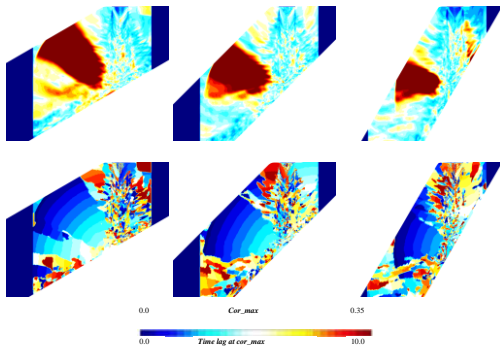


図6 音響波 ii との相関係数の空間分布

域で見ることで、音源位置の特定を行った。
(図6)本解析から、音源位置がやはり、2種類存在しており、斜め平板により生じたプレート衝撃波とせん断層の干渉部分と衝突後の剥離誘起衝撃波とせん断層の干渉部分から発生していること、および上流のせん断層の不安定波とも関連があることがわかった。

以上の知見を元に、さらなるパラメトリックスタディを行うことで、音源の特性を明らかにした。図7に角度を変えた一連のシミュレーション結果を示す。前述のように、音源は2種類あることがわかってきたが、これら2種類の音源の強さが角度によって独立に変化するために音響波 ii の音響波の強さの変化率が途中で急激に変化することを明らかにした。

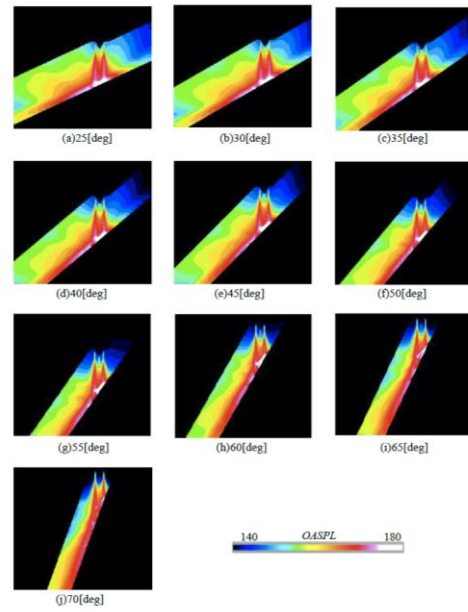


図7 様々な角度の平板に衝突する超音速ジェットから発生する音響波の音圧レベル

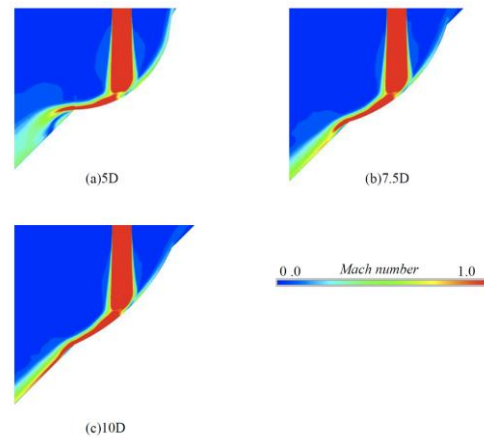


図8 曲面に衝突する超音速ジェットの流れ場 (平均速度場)

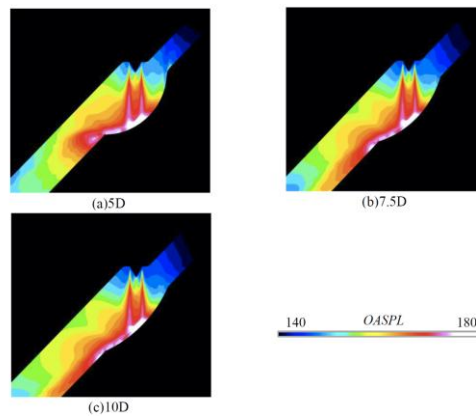


図9 曲面に衝突する超音速ジェットから発生する音響波の音圧レベル

また、ここまでの知見をさらに生かし、曲面板に衝突する超音速ジェット(図8)から発生する音響波(図9)を調べた。平板と比較して衝撃波が強くなることで、音響波も強くなることを明らかにした。また、曲面の終わり部分で、剥離せん断層が発生し、この部分が新たな音源となることも明らかにした。

以上のように、データマイニングから得られた知見をベースに、物体に衝突する超音速ジェットから発生する音響波の特性の理解を深めた。ここで得られた知見はロケット噴流から発生する音響波の予測モデル構築の際に重要なものである。また、データマイニング手法を複雑流体音響場に適用し、その理解を大きく深める方法論を確立することができた。

5. 主な発表論文等 (研究代表者に下線)

[雑誌論文] (計1件)

1. Taku Nonomura, Seiichiro Morizawa, Hiroshi Terashima, Shigeru Obayashi and Kozo Fujii, Numerical (error) Issues on Compressible Multicomponent Flows using a High-order Differencing Scheme : Weighted Compact Nonlinear Scheme, Journal of Computational Physics, Vol 231, pp. 3818-3210, 2012.

[学会発表] (計9件)

1. Taku Nonomura, Seiichiro Morizawa, Shigeru Obayashi and Kozo Fujii, Computational Prediction of Acoustic Waves from a Subscale Rocket Motor, 29th International Symposium on Space Technology and Science. June 2-9th, 2013, Nagoya, Aichi.
2. 長田裕樹, 野々村拓, 藤井孝藏, 山本誠, 斜め平板及び曲面板に衝突する超音速ジェットの音響場解析, 第53回航空原動機・宇宙推進講演会, 2013年3月4日, 岡山.
3. 森澤 征一郎, 野々村拓, 藤井 孝藏, 大林 茂サブスケールロケットモータから生じる音響波の数値シミュレーションの予測精度の検証, 第56回宇宙科学技術連合講演会, 2012年11月20-22日, 別府.
4. Seiichiro Morizawa, Taku Nonomura, Hironori Honda, Shigeru Obayashi, Makoto Yamamoto and Kozo Fujii, Source of Acoustic Waves from a Supersonic Jet Impinging on an Inclined Flat Plate with Various Plate Angle, 6th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, September 10-14th 2012, Vienna, Austria.

5. 森澤 征一郎, 野々村拓, 大山 聖, 藤井孝藏, 大林 茂, データマイニングによる斜め平板に衝突する超音速ジェットから発生する音響波の理解, 第44回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2012, 2012年7月6-7日, 富山.
6. Taku Nonomura, Seiichiro Morizawa, Hiroshi Terashima, Shigeru Obayashi and Kozo Fujii, Implementation of Weighted Compact Nonlinear Scheme to Compressible Multicomponent Flows, International Conference on Numerical Methods on Multiphase Flow (Invited), June 12-14th 2012, Pennsylvania, USA.
7. Seiichiro Morizawa, Taku Nonomura, Seiji Tsutsumi, Nobuhiro Yamanishi, Keita Terashima, Shigeru Obayashi, and Kozo Fujii, Validation Study on Computational Aeroacoustics of Acoustics Waves from Sub-scale Rocket Plume, 162th Meeting of the Acoustics Society of America, October 31st to November 4th 2011, Sandiego, USA.
8. Seiichiro Morizawa, Taku Nonomura, Akira Oyama, Kozo Fujii, and Shigeru Obayashi, Application of Data Mining into Acoustic Waves from a Rocket Plume, The 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, September 4-11th 2011, Osaka Japan.
9. Hironori Honda, Taku Nonomura, Kozo Fujii and Makoto Yamamoto, Effects of Plate Angles on Acoustic Waves from a Supersonic Jet Impinging on an Inclined Flat Plate, 41th AIAA Fluid Dynamics conference and Exhibit, AIAA Paper 2011-3260, June 27-30th 2011, Hawaii, USA.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

野々村拓 (Taku Nonomura)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 助教

研究者番号 : 82645