



# 気球落下超音速飛行実験の飛行経路検討 (動的計画法による飛行経路最適化)

九州大学 宮沢与和

平成22年11月26日

JAXA研究開発本部 三鷹



## 発表の構成

公募型研究 中間発表

1



1. はじめに
  - 研究の目的と位置づけ
  - 動的計画法
  - 最適制御の数値解法
2. 動的計画法による軌道の設計
  - 機体モデル
  - 縦の軌道設計
  - 横の軌道設計
3. まとめ

## はじめに 最適制御による軌道の設計



### 研究の目的

実験可能な機会を多く、かつ計測に成功する確率を高くすることを目的に飛行計画の作成を支援する最適制御解析ツールを提供する。

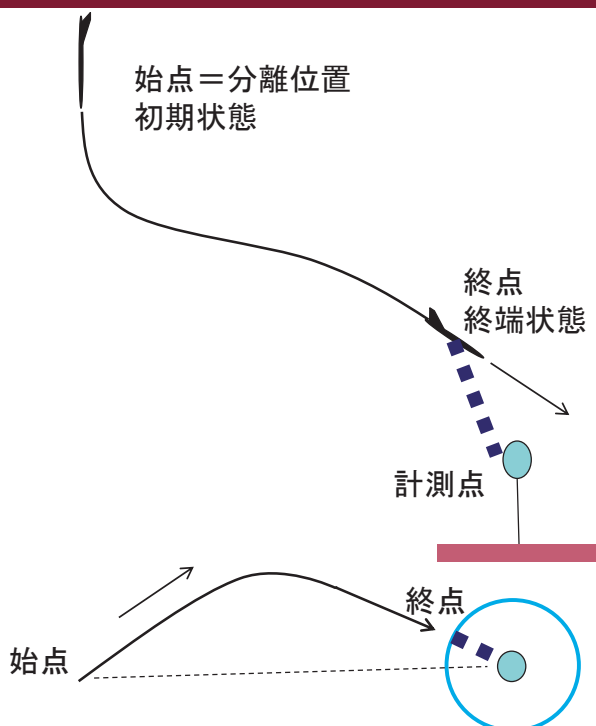
### D-SEND2の実験における特徴

- 分離位置が制御しにくい（気象条件に影響を受けやすい）
- 一発必中（繰り返しの実験ができない）

### 研究の背景と位置づけ

- 高速飛行実証フェーズ2において極めて類似した条件に対して経路生成則・誘導則の設計を行っている。
- 設計は広く解釈すれば最適化であるが、多くのアプローチがあり、最適制御問題の解を利用することもその1つである。ただし、最適制御の数値解を容易に得られることが重要
- 現場のニーズに対応した研究を大学が担い、研究の多様性を確保

## 気球落下超音速飛行実験の経路設計



### 設計要求

計測点の上空において与えられたマッハ数・高度・経路角を飛行、通過すること。

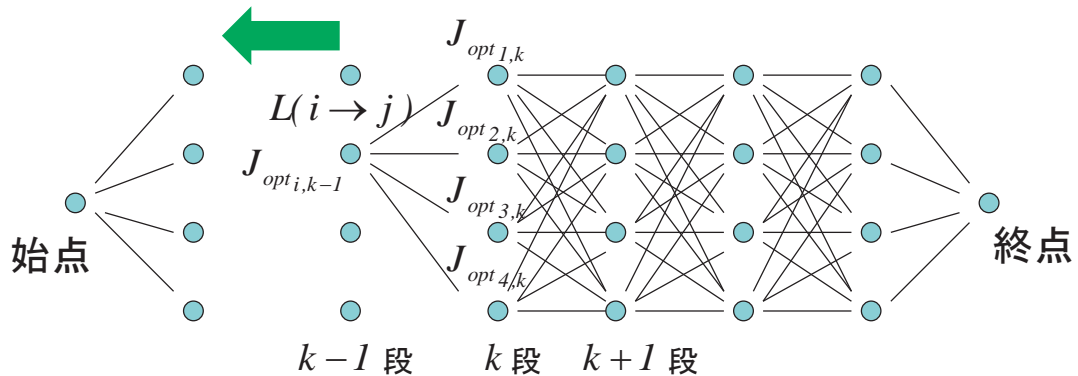
### 考慮すべき不確かさ

- 風外乱
- 機体のモデル誤差
- 航法誘導制御誤差
- 大気条件の誤差 . . .

動的計画法 公募型研究 中間発表 4



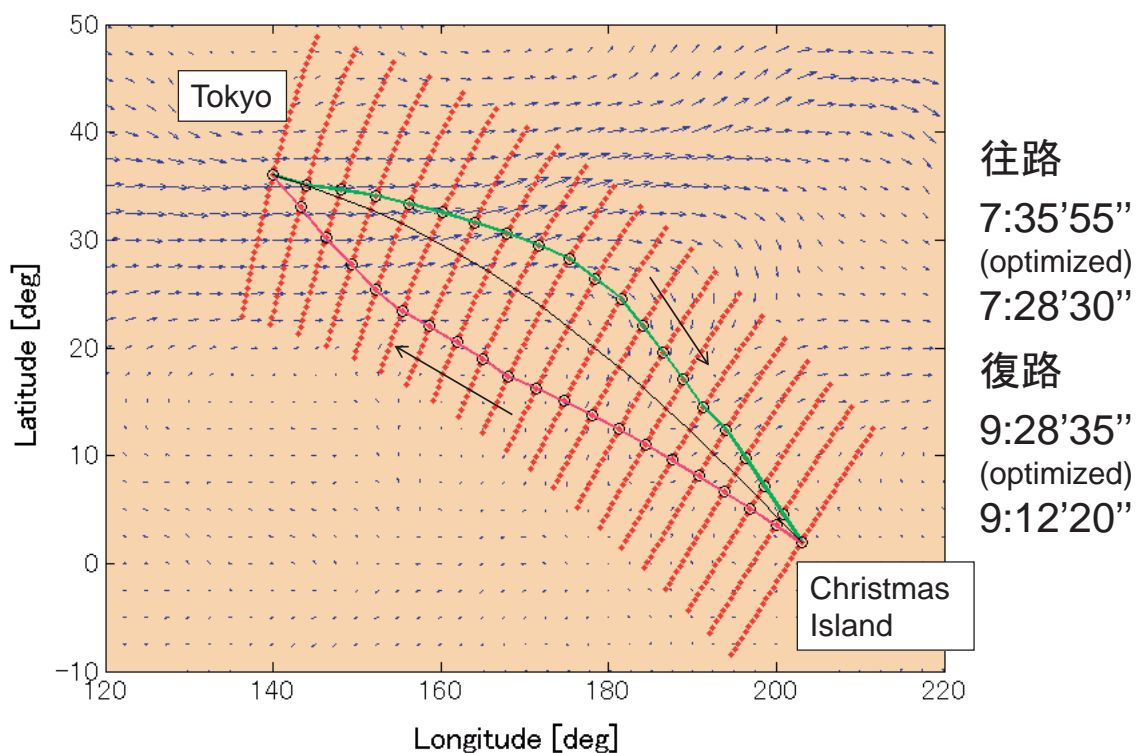
状態量を離散化し、状態量の遷移を多段階に分解し、全ての組み合わせのなかから最適な経路を求める。



$$J_{opt\ i,k-1} = \min_{j=1,4} [L(i \rightarrow j) + J_{opt\ j,k}]$$

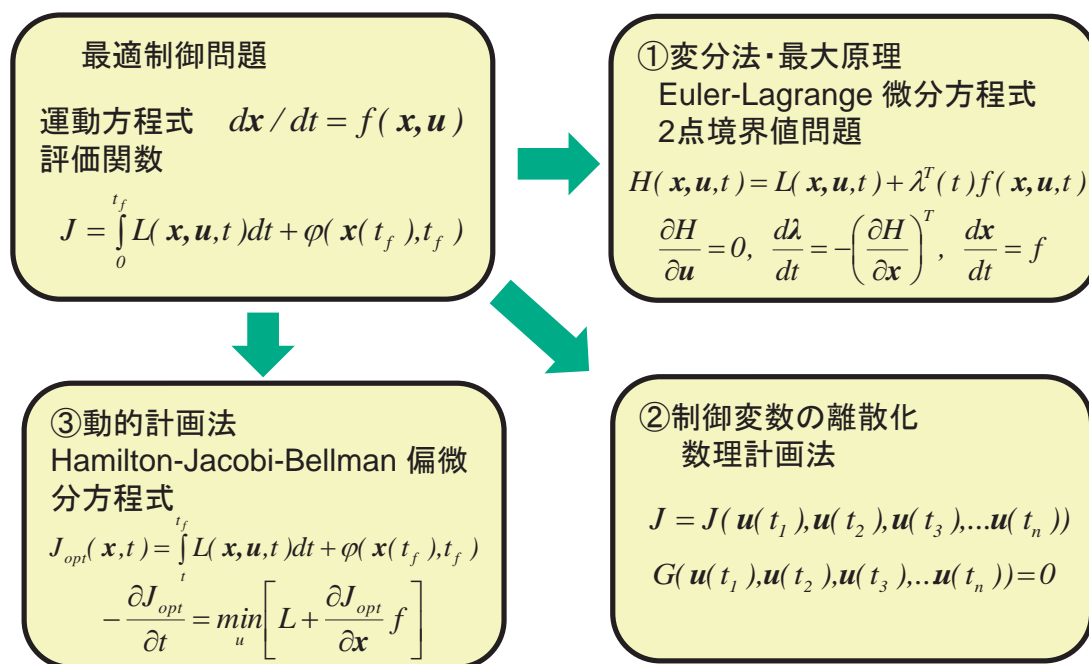
N点/段, M段 のとき, 経路の計算:  $N^M \rightarrow N^2 \times M$

動的計画法 風を考慮した経路(ランダム経路) 公募型研究 中間発表 5



往路  
7:35'55''  
(optimized)  
7:28'30''  
復路  
9:28'35''  
(optimized)  
9:12'20''

## 最適制御の数値解法



## 最適制御の数値解法



手法	長所	短所
Euler-Lagrange 微分方程式の解	・高精度の解を得ることができる	・収束計算に困難さが伴い、問題に応じて工夫が必要. 条件が変更した場合にも同様に工夫が必要になる
数値計画法の応用	・種々の数値計画法が適用可能 非線形計画法, 滑降シンプレックス法, 遺伝的アルゴリズム等 ・プログラムが容易	・大域的最適解の保証が困難 ・収束計算に困難さが伴う
動的計画法	・大域的最適解が得られる ・離散化が確立すれば条件の変更に対して手間がいない.	・次元が大きいと計算が困難になる. ・状態変数と制御変数の差が小さい場合も計算が困難になる. ・精度を確保するために離散化に工夫を要する

## 動的計画法による軌道設計



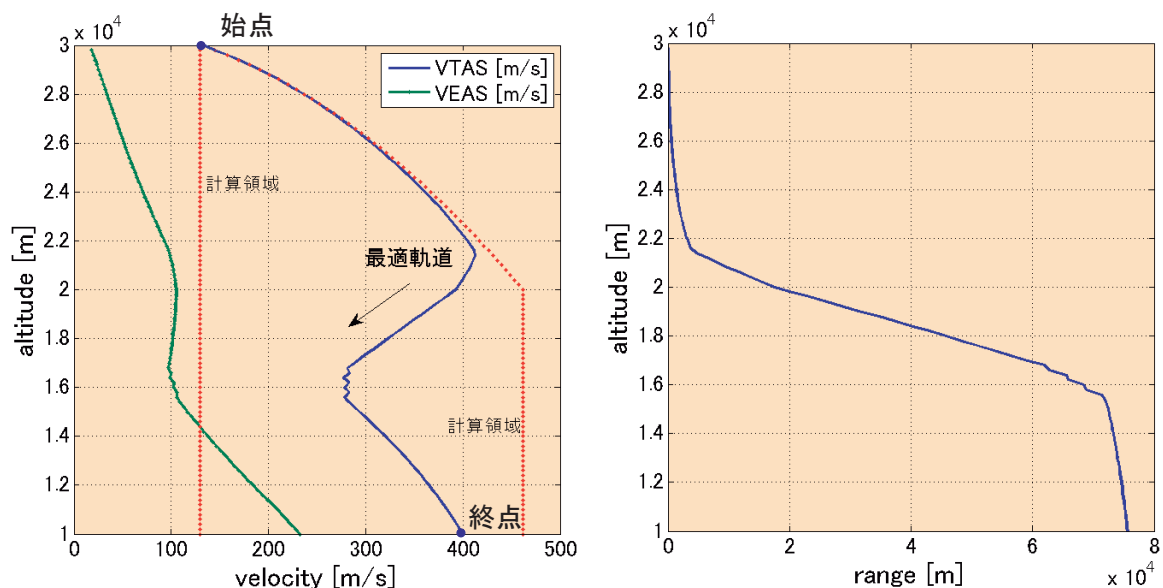
### D-SEND2モデルによる3自由度の質点の運動方程式

- 重心位置を仮定, トリム計算を行いトリム空力モデルデータを作成
- 姿勢の回転運動は瞬時に変更可能として迎え角(=揚力係数)を操作量(制御変数)とした質点の運動方程式を用いる
- 横の運動を伴わない縦の運動(高度, 速度, 経路角)を解析
  - 予備検討 状態量(高度, 速度), 制御変数(経路角)を解析
- 縦の運動を予め決めた横の運動(方位角, 緯度, 経度)に分けた解析 . . . . .

## 動的計画法による軌道設計 縦の結果例



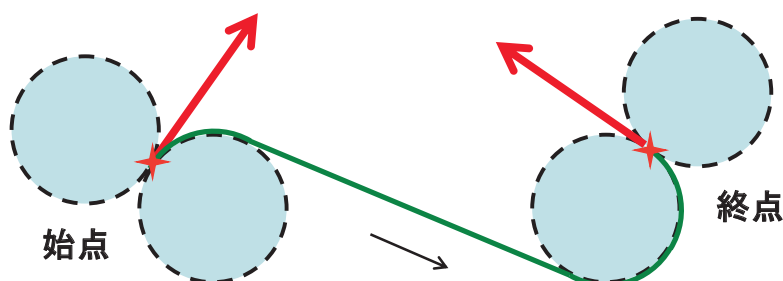
Range 最大の軌道



## 動的計画法による軌道設計 横の軌道設計



最短経路問題：Dubinの解＝旋回と直線飛行



最適制御問題とする意味

- ・旋回時の揚力と抗力の増大を考慮
- ・風の影響を考慮

## まとめ



- 経路設計は機体モデルの不確かさや風など種々の誤差要因を考慮して必要かつ十分な余裕を与えることが重要である。最適化により余裕の最大とすることができる。
- 最適化のツールは、補助的な手段であり、使いやすさが重要である。
- 動的計画法には以下の長所があり、設計現場において有効なツールになる可能性がある。
  - 解を得るための計算量が確定的であり、予め分かること
  - 風、機体モデル、初期状態、評価方法の変更に対して容易に対応することができること

## JSASS 人材育成検討委員会の報告書における提言

12



第44期航空宇宙学会(平成21年度)の下で人材育成検討委員会を立ち上げて、航空宇宙分野の人材育成の諸課題を検討した。

### 産官学連携を特に議論

大学のリソースを活用するするとともに**産業, JAXA, 大学の距離を縮めて学生や若手教員の人材育成に資する。**

- ・産官学が一体となった開発
- ・共同研究, 委託研究, **公募型の研究**
- ・連携大学院
- ・インターンシップ

11/30 飛行機シンポジウム第1日目にてパネルディスカッション

公募型研究 中間報告

13

## 科学研究費 総額2000億円(平成22年度)



6人の審査員は全員大学の教員 (**産業界からの視点はない**)

昨年度の航空宇宙工学分野の新規課題 金額の多い順

Fly By Light Power:低パワーによる飛躍的な**高速空力性能の向上**  
 仮想飛行試験の実現に向けた**次世代動的風洞実験の基盤構築**  
 極軌道対応型衛星帯電防止用受動的電界電子放出素子(Elif/PEO)の開発  
 高温気流中の絶対原子数密度測定法の開発および内部非平衡状態の解明  
 光学CTマイクロフォンを用いた**超音速ジェット騒音の3次元高解像音源探査**  
 地球高層中性大気のグローバル・リモートセンシング技術に関する研究  
 超流動ヘリウムにおける特異熱流体力学状態の定量的同定とその間の遷移の実験的検証  
 ゴサマー多体力学の解構造  
 極短時間真空紫外分光と量子化学解析の融合による輻射連成複雑系流れ場のモデル化  
 ガストネル型プラズマ溶射を用いた航空・宇宙用超耐熱材料の開発  
 ジメチルエーテルをプロペラントとする**アークジェット推進機とそのデュアルモード化**  
 高比推力・長寿命ホールスラスタの開発研究  
 超低電力マイクロ波放電式イオン源を用いた革新的小型プラズマ宇宙推進機の実現  
 複合宇宙環境下における材料加速劣化シナジー効果発現に関する包括的理解  
 微小重力で明らかにされる超流動ヘリウムの特異な膜沸騰の実相と伝熱促進効果の解明