

軌道ベース運用の“その先”の 空域と滑走路運用

～コロナ禍データを用いた
現実的な軌道モデルの構築とその評価～

○一松佳希・由井颯人・荒川健琉

林泰希・山下優樹・塩崎亮太・出合慎太郎・丸山昇大

荒井颯太・梶川峻・河野孝弘

東京都立大学航空宇宙システム運用工学研究室

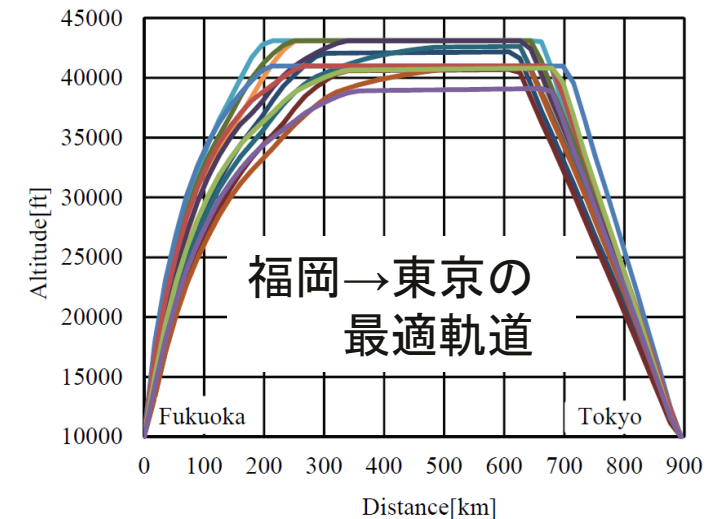
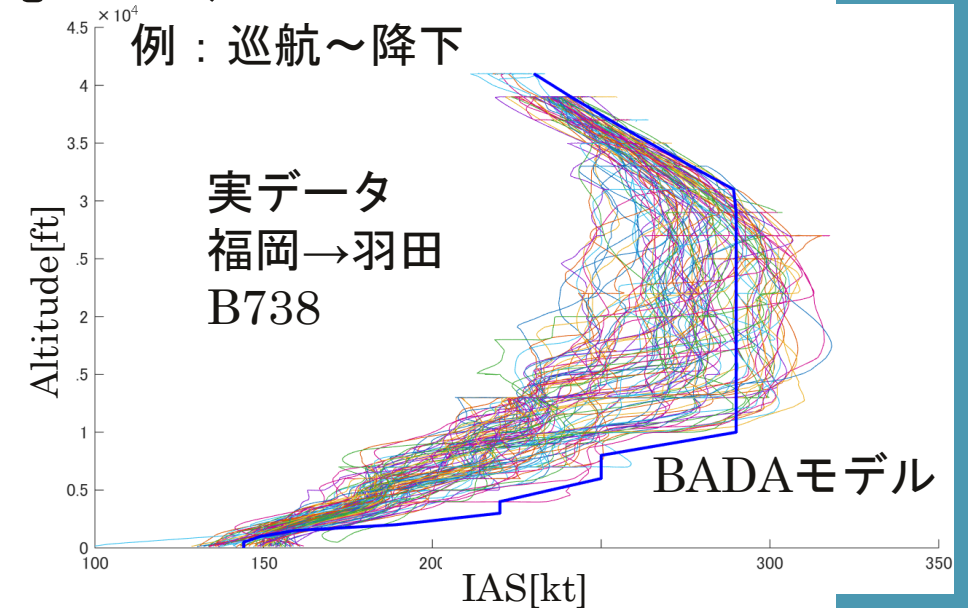
研究で用いられる運航モデル

- 運航モデルの用途例

- 実現性をシミュレーション評価
- 運航効率の改善可能性の評価
- 運航方式の最適化のための標準的なサンプル
 - ”航空機の本来の望ましい飛び方”が妥当な評価に必須

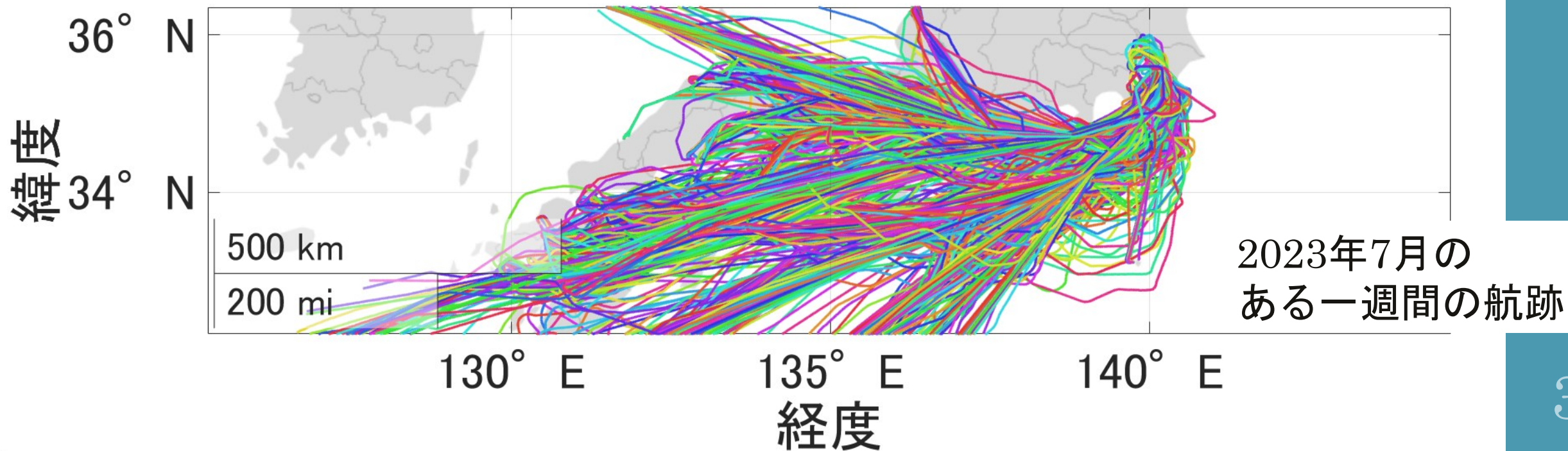
- 現在の運航モデルの例

- BADAモデル（代表的な運航モデル）
 - EUROCONTROLが開発・管理・提供
 - ただ、データ解析で使っていると・・・
 - 国内の実際の運航より高速 → そのため燃費も悪い
 - 欧州製のモデル → 日本の実情に合っていない
- 数値計算による軌道最適化により得られる軌道
 - コストインデックスや機体重量の情報が得られない
 - 本当に最適な軌道とは限らない
 - 実運航の制約の考慮が困難



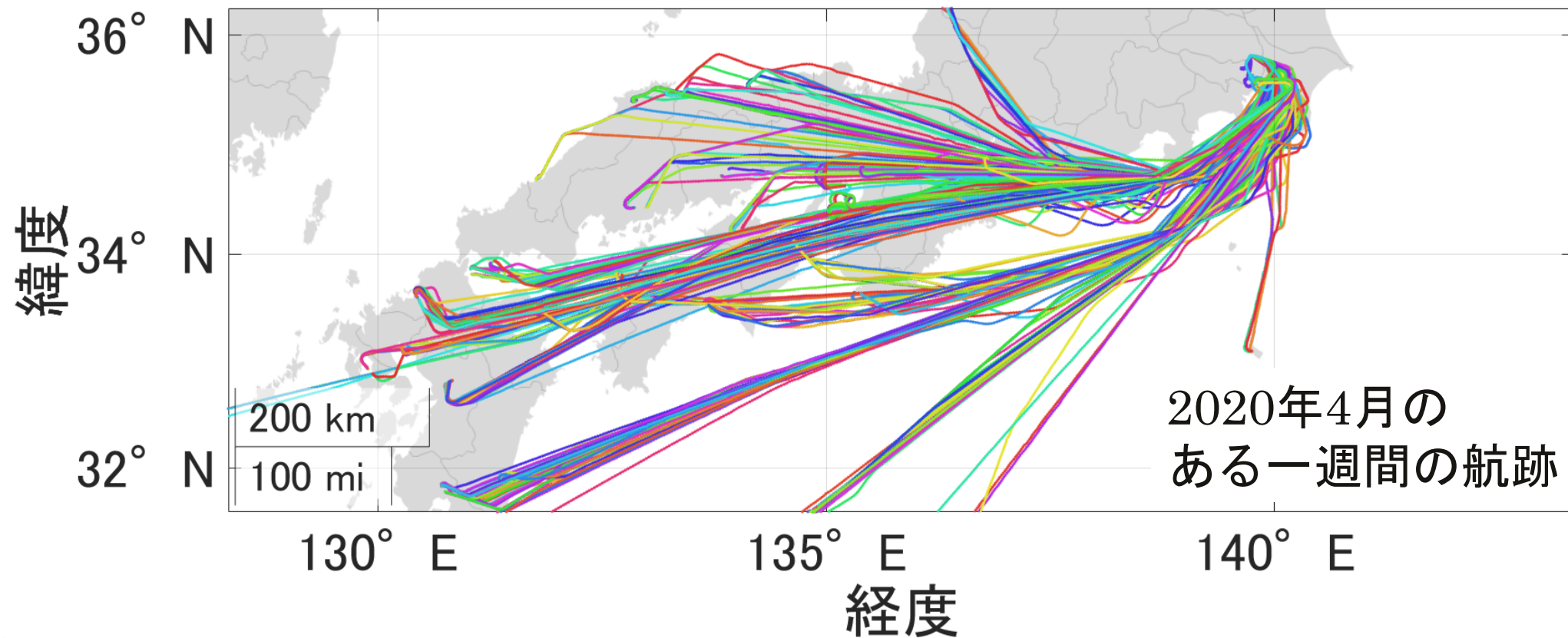
新たな運航モデルの方針

- TBOなど新しい運航方式の適切な評価のためには
 - 現実的な制約を反映しつつ理想的な運航モデル
 - 日本の実情に合ったモデル
 - 例：短距離の国内線が多い → 運航時の重量が軽い（けど重量は非公表）
- 😊 実際の運航データを用いて作れば良さそう（特に重量に関係する面）
- 😞 でも、ほとんどの便は航空管制の指示により「理想的な軌道」から外れる
→ 「理想的な運航」のまとまった量のデータの入手は困難



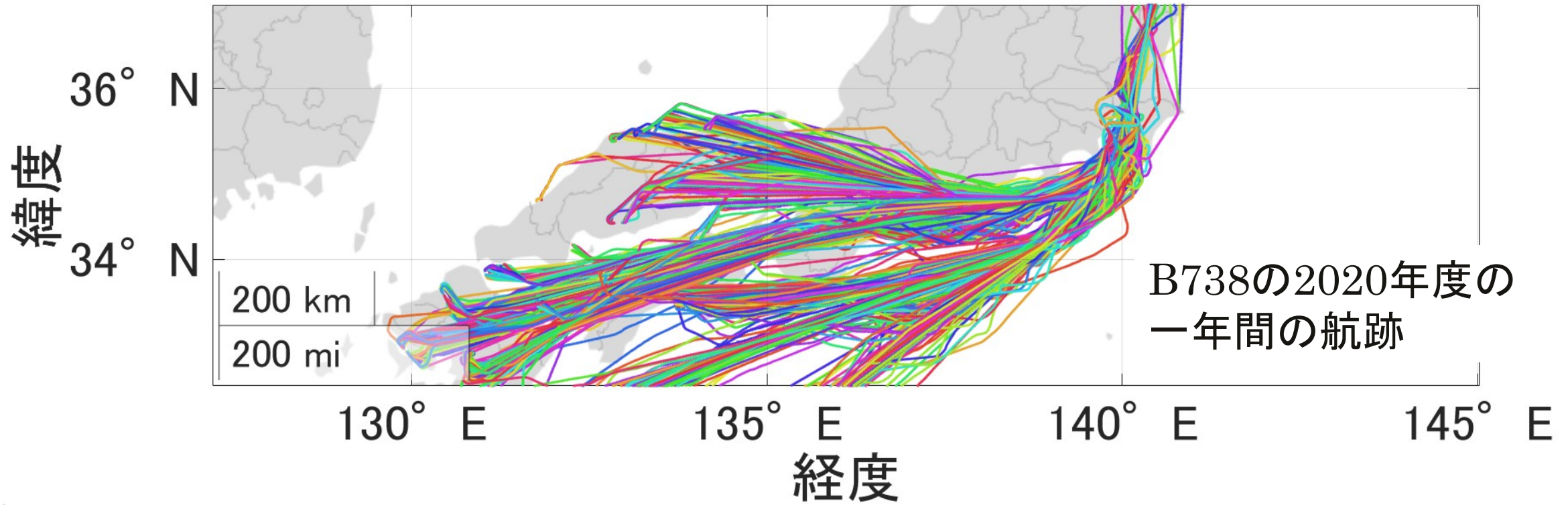
新たな運航モデルの方針

- 💡 コロナ禍（2020年度）時には便数が減少していた
 - 航空管制による軌道変更がほぼ無い便が多くありそう
 - 👉 エアラインの理想通りの運航と解釈できる
- 👉 コロナ禍のデータを用いて運航モデルを作ってみる



コロナ禍中のデータの調査

- 以下の手順でモデル化を実施
 - コロナ禍期間（2020年4月～2021年3月）のCARATS OPEN DATA
 - 各便の軌道から大きな航空管制を受けていないと解釈できる範囲を抽出
 - 上昇・巡航・降下の各段階で傾向を見出してモデル化
- 具体例としてB738を対象にモデル化を試みる

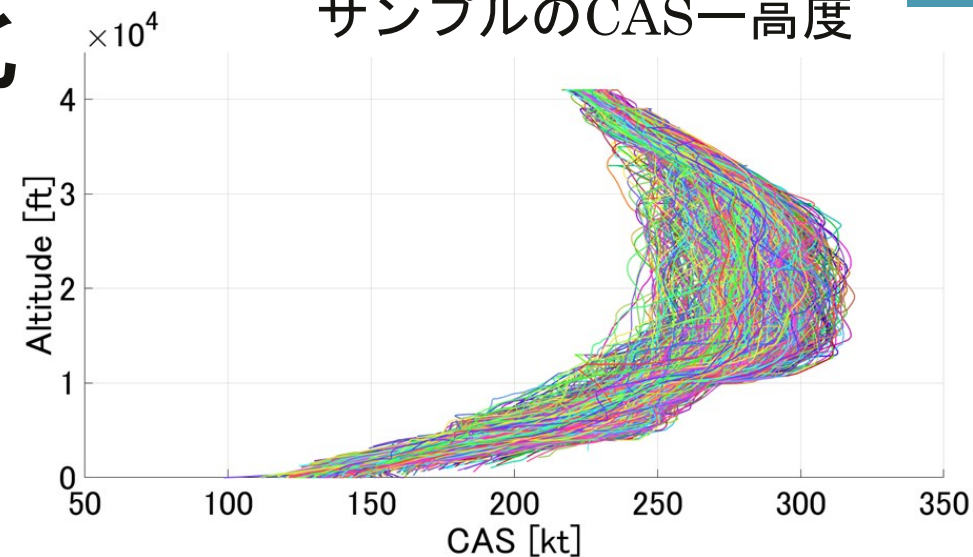


運航のモデル化

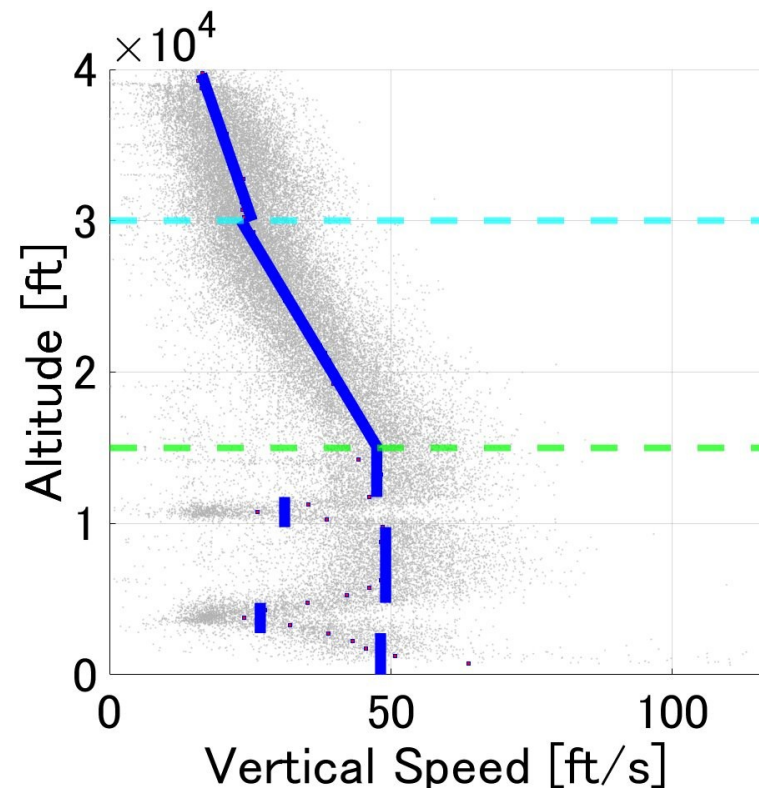
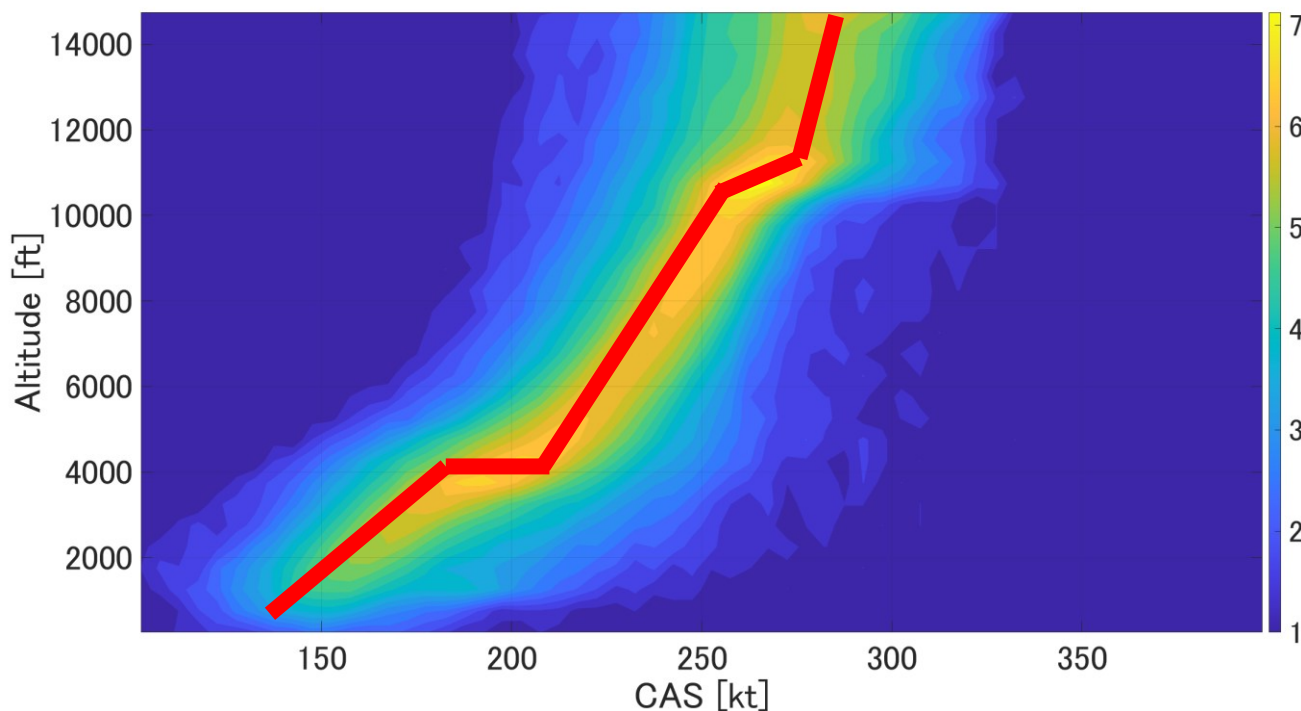
- 上昇経路のモデル化①：15,000ft以下

- 実データをもとに平均的な速度と上昇率を高度ごとに決定
- 一時的に上昇率を抑制している高度帯もモデル化
 - 騒音抑制・燃費効率向上のためと思われる

サンプルのCAS一高度

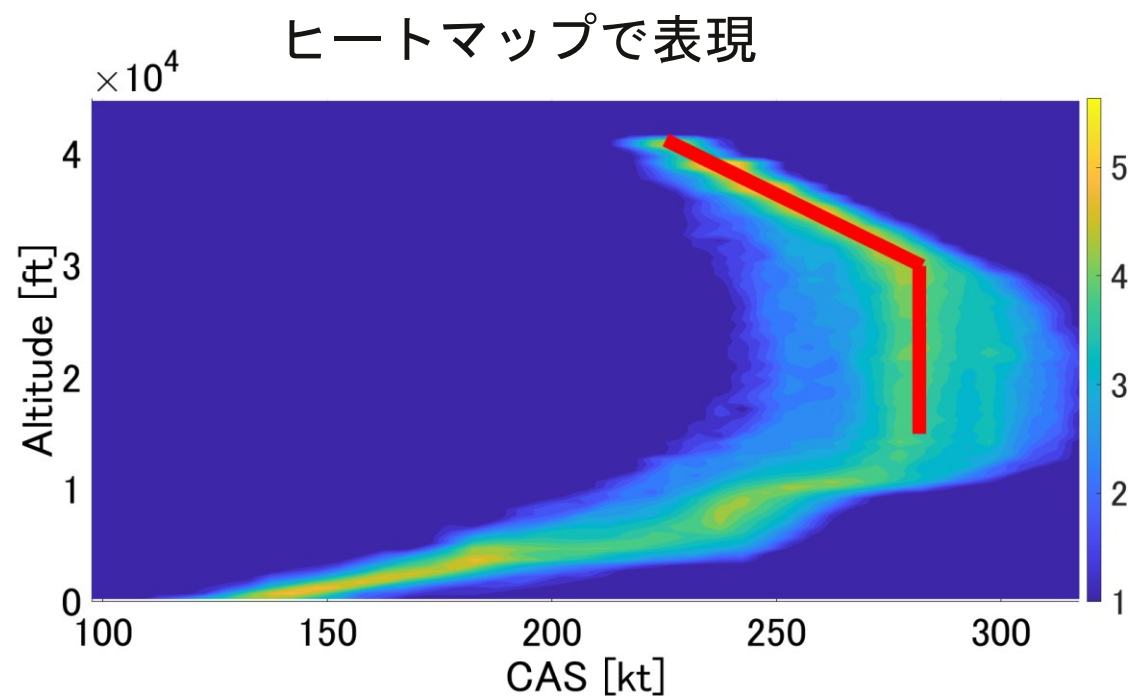
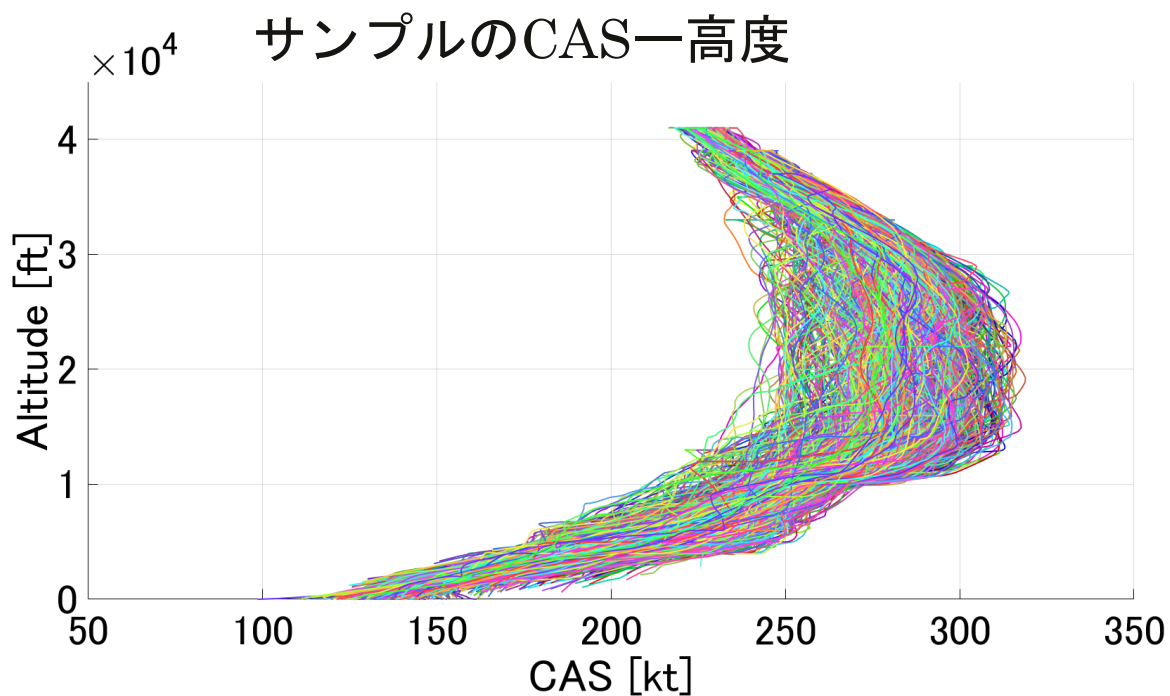


ヒートマップで表現



運航のモデル化

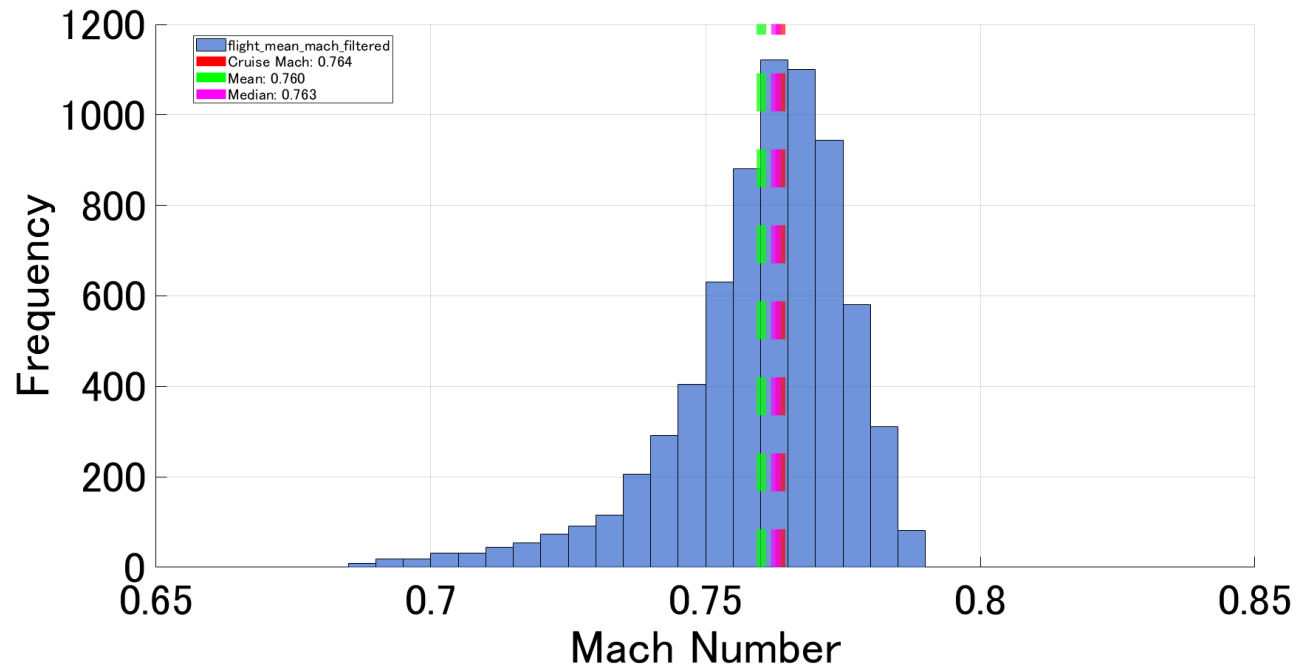
- 上昇経路のモデル化②：15,000ft以上
 - CAS一定での上昇 → マッハ数一定での上昇
 - CAS：平均値で決定
 - マッハ数：次ページで
 - 巡航高度で上昇率を0[ft/s]とする
 - 巡航高度は任意に決められる



運航のモデル化

- 巡航経路のモデル化

- 上昇の終わり～巡航～降下開始まで：一定のマッハ数としてモデル化
- Mach数：各便の上記の区間の平均Mach数を求め、さらにその平均から決定
- B738の場合：M0.76とした



運航のモデル化

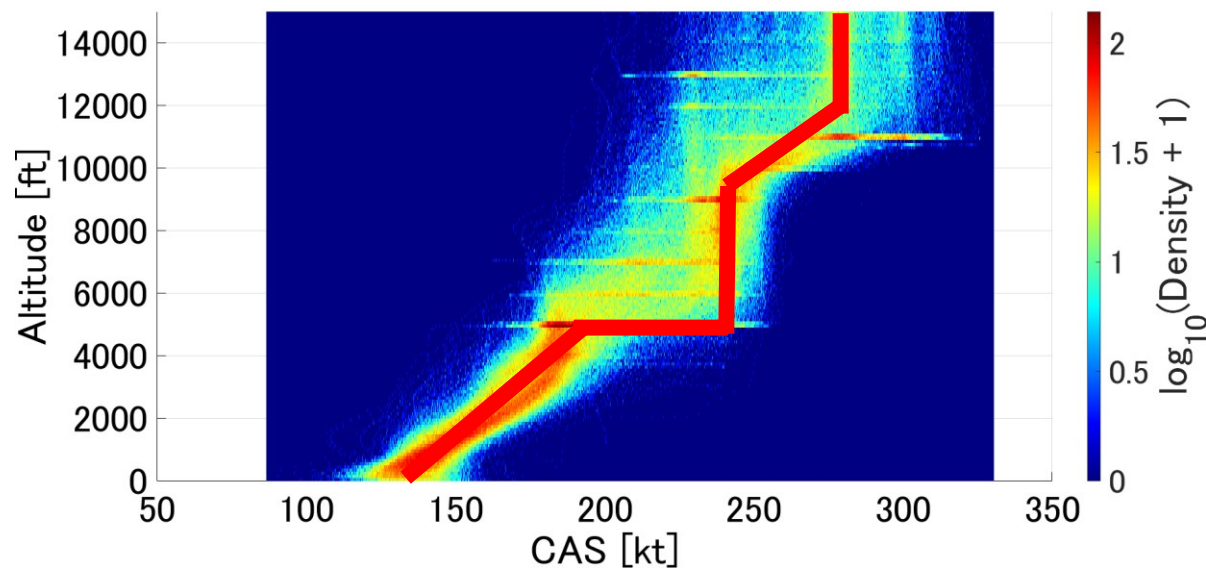
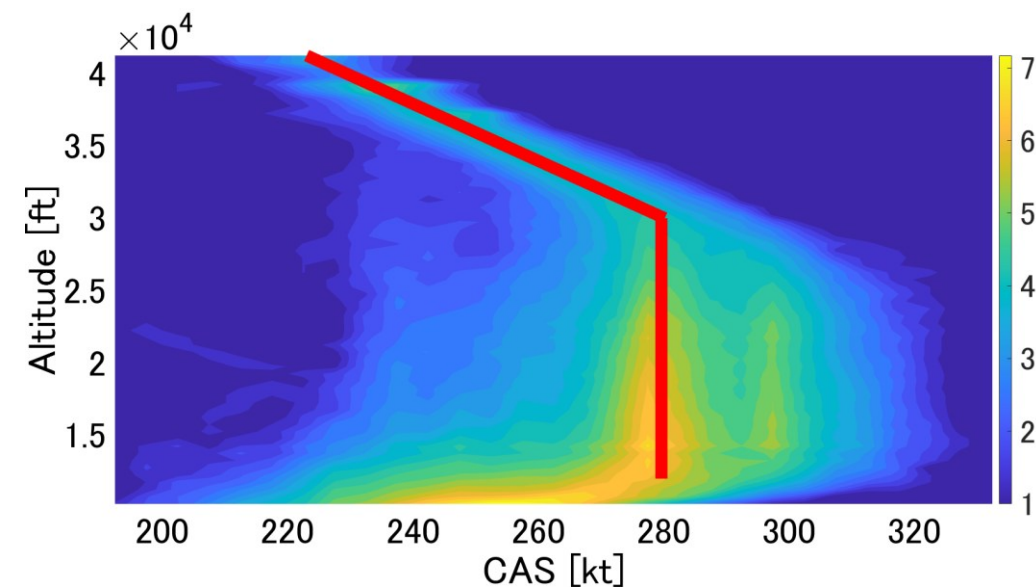
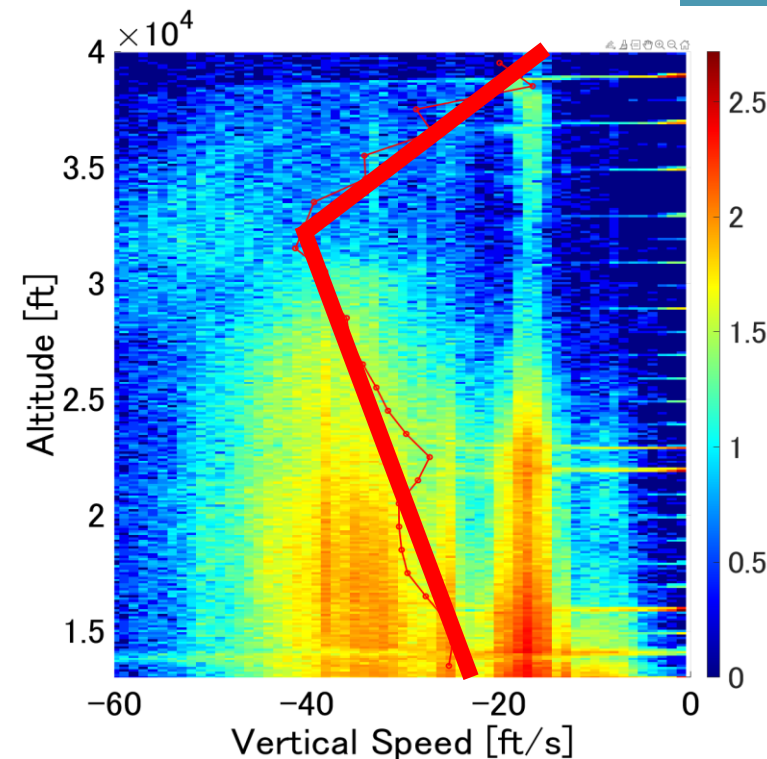
- 降下経路のモデル化

- 巡航から13000ftまで

- マッハ数一定での降下 → CAS一定での降下
- マッハ数：巡航時と同じ・CAS：平均値で与えた
- 降下率：実データに基づいて高度ごとの平均値をモデル化

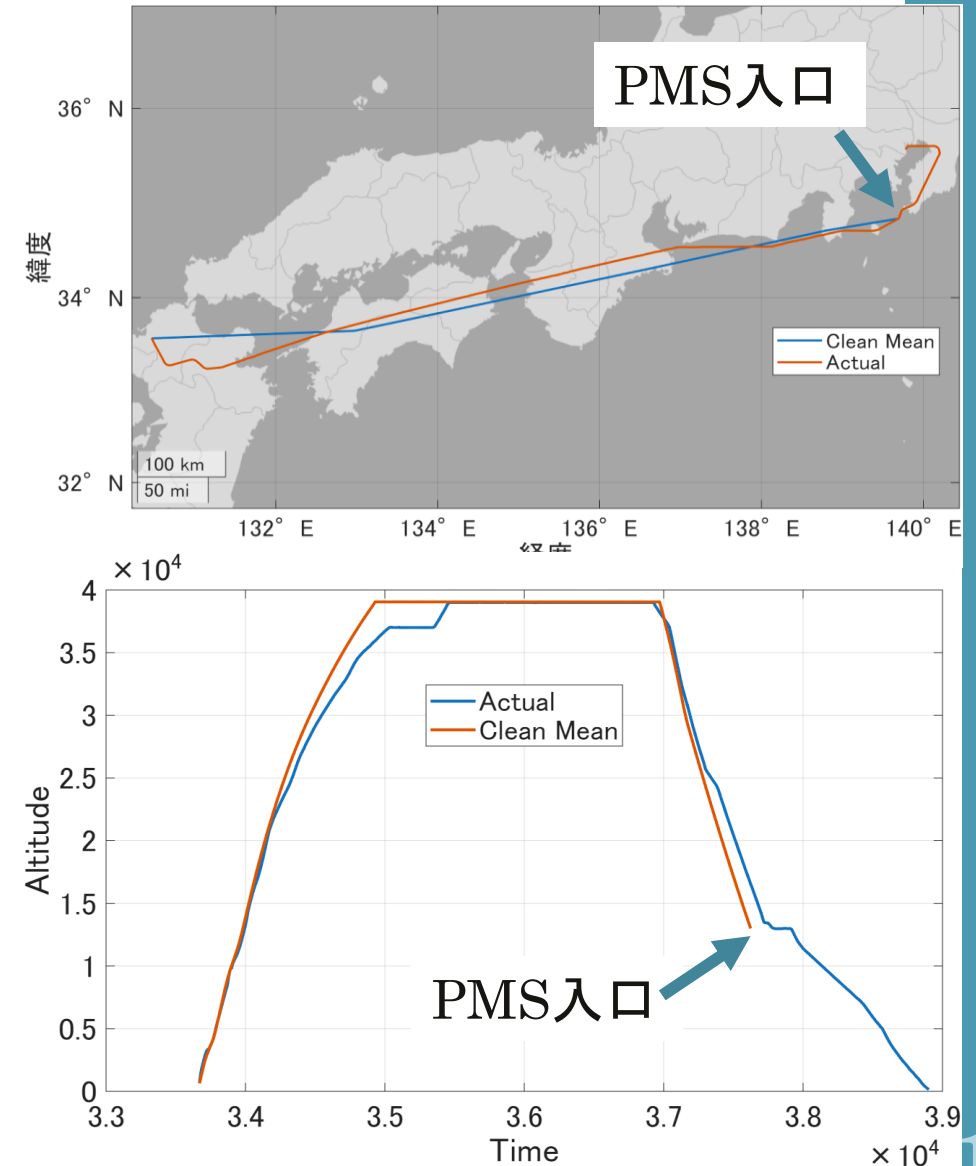
- 13000ft以下

- PMSに入ることを想定
- これ以降はアプローチチャート通りを想定



運航モデルの利用例：運航効率評価

- 将来の軌道ベース運用を想定
 - ”理想的な軌道モデルに従って運航できる”と仮定
 - 羽田空港の着陸直前のPMSの入口まで
 - PMS入口で合流を仮定
 - 滑走路を無駄なく使用＋間隔調整：最低限必要な機能
- 比較対象：実データ
 - 2023年7月の平日の1日
 - 福岡空港 → 羽田空港のB738（14便）
 - 機体質量：BADA標準の90%を想定
- 結果
 - 燃料消費量：平均11.7kg削減（ $\sigma=49.6\text{kg}$ ）
 - 平均3221.3kg→平均3209.6kg
 - 飛行時間：平均8.7秒削減（ $\sigma=74.5\text{秒}$ ）
 - 平均5073.4秒→平均5064.6秒



まとめ

- コロナ禍の実運航データを利用した運航モデル
 - 上昇・巡航・降下の各段階での適切なモデル化の方針を明らかに
 - 実データを用いることにより日本の運航の実情を反映したモデル化
 - 短距離・（おそらく）軽量
 - 全体的にBADAモデルより低速
- 将来のTBOを想定した初期的評価
 - まだ精緻化の余地がありそう
 - 特に上昇率・降下率
- 最後までご清聴下さいましてありがとうございました。