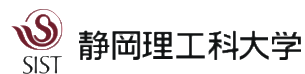

ベイジアンネットを用いた低層乱気流発生要因の考察 ～旅客機の安全な離着陸のために～

はじまりを、つくる



静岡理科大学
情報学部コンピュータシステム学科
米山 敏生

大学院理工学研究科システム工学専攻
大場 春佳

指導教員 水野 信也

背景・目的

最近の日本における
大型航空機事故の大半は乱気流が原因と考えられている

そこでより安全な運航を行うためには

- ・乱気流発生 of 兆しを捉えるシステムの考案
- ・乱気流の影響を受けにくい飛行方法の模索
- ・乱気流の影響を軽減する装置開発

などが考えられる

本研究では、「**乱気流発生 of 兆し**」について、「**オープンデータ**」を用いた「**低コスト**」な解析手法と、「**現場で活用できる**」「**簡易的な指標**」を「**ベイジアンネットワーク**」を用いて得ることを目標とする

データについて



今回使用したデータは以下の通りである

期間：2017/10/01～2018/03/31

内容：大きく分けて5つのデータに分類できる

- ・乱気流フラグ - 乱気流が吹いたか
- ・気象図予想 - 日本時間9時、12時の予想天気図
- ・輪島実測 - 日本時間21時の天気
- ・舘野実測 - 日本時間21時の天気
- ・松本空港実測-日本時間9時30分の天気

データについて(詳細) -乱気流フラグ



乱気流が吹いたかどうかを表したフラグ

データの内容

- ll_ws 低高度乱気流発生
- sev_turb 強度の山岳波による乱気流発生
- mod_turb 中程度の山岳波による乱気流発生

* ネットワーク図では文字化けのためll_ws→ロサンll_wsと表示

* このデータは、共同研究先であるFDA様よりご提供いただきました。

データについて(詳細) - 気象図予想

はじまりを、つくる



日本時間9時、12時の700hp,500hpの天気予想

データ入手先：

- 国内航空路予想断面図 <https://n-kishou.com/ee/exp/exp01.html?cd=fxjp106&cat=a>
- Sunny Spot https://www.sunny-spot.net/chart/chart_archive.html?area=0

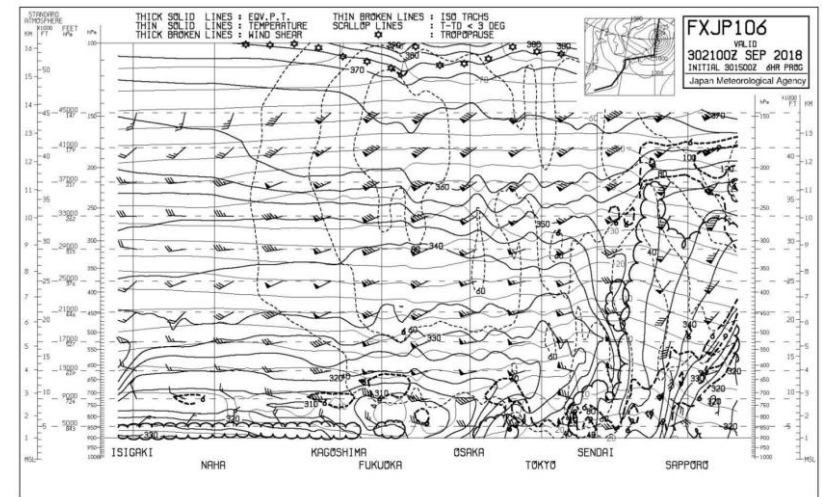
データ内容

日本時間9時

- fx106_00_700spd 700hp面の速度の予想
- fx106_00_500spd 500hp面の速度の予想
- fx106_00_500shear 500hp面の風速差の予想

日本時間12時

- fx106_03_700spd 700hp面の速度の予想
- fx106_03_500spd 500hp面の速度の予想
- fx106_03_500shear 500hp面の風速差の予想



データについて(詳細) - 輪島実測

はじまりを、つくる



日本時間21時の輪島の天気(実測値)

データ入手先：気象庁

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/index.php>

データ内容

- WA_500_12_temp 500hp面の温度
- WA_500_12_hum 500hp面の湿度
- WA_500_12_spd 500hp面の風速
- WA_500_12_dir 500hp面の風向
- WA_700_12_temp 700hp面の温度
- WA_700_12Z_hum 700hp面の湿度
- WA_700_12_spd 700hp面の風速
- WA_700_12_dir 700hp面の風向

国土交通省 気象庁
過去の気象データ検索 (高層)

各地の気温、降水量、風など 高層の気温、風など

地点と年月日時を選択して、表示するデータの種類を選択してください。検索条件を全てクリア

地点の選択	年月日時の選択	データの種類の選択
地図から選択 地図から選択	2018年 1998年 1月 1日 16時 9時 2017年 1997年 2月 2日 17時 21時 2016年 1996年 3月 3日 18時 2015年 1995年 4月 4日 19時 2014年 1994年 5月 5日 20時 2013年 1993年 6月 6日 21時 2012年 1992年 7月 7日 22時 2011年 1991年 8月 8日 23時 3時 2010年 1990年 9月 9日 24時 15時 2009年 1989年 10月 10日 25時 2008年 1988年 11月 11日 26時 2007年 1987年 12月 12日 27時 2006年 13日 28時 2005年 14日 29時 2004年 15日 30時 2003年 16日 31時 2002年 2001年 2000年 1999年	指定気圧面の観測データ (地点、年月日時を指定してください) 日ごとの指定気圧面の観測データ (地点、年月日時を指定してください) 気温・湿度の観測データ (地点、年月日時を指定してください) 風の観測データ (地点、年月日時を指定してください) 月ごとの値 (地点、年月日時を指定してください) 年・月ごとの平年値 (地点、時を指定してください) 日ごとの平年値 (地点、月時を指定してください) 地点ごとの観測史上1~10位の値 (地点、時を指定してください)

新着情報
・高層のデータについては、データ精査作業のためデータ掲載が遅れることがありますので、あらかじめご了承ください。(2018年2月13日)
・高層の「観測」「輪島」「松江」「潮岬」については、観測機器改修作業のため当面の間、データ掲載が遅れますのでお知らせします。(2018年1月30日)
過去のお知らせ
※掲載している気象データは、過去にさかのぼって修正する場合があります。ご利用の際には、最新の掲載データをご確認ください。なお、主な修正については、新着情報の中でお知らせします。



データについて(詳細) - 館野実測

はじまりを、つくる



日本時間21時の館野の天気(実測値)

データ入手先：気象庁

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/index.php>

データ内容

- TA_500_12_temp 500hp面の温度
- TA_500_12_hum 500hp面の湿度
- TA_500_12_spd 500hp面の風速
- TA_500_12_dir 500hp面の風向
- TA_700_12_temp 700hp面の温度
- TA_700_12Z_hum 700hp面の湿度
- TA_700_12_spd 700hp面の風速
- TA_700_12_dir 700hp面の風向

国土交通省 気象庁
日本語 | ENGLISH | 気象見-の感想 | サイトマップ

ホーム | 防災情報 | 各種データ・資料 | 知識・解説 | 気象庁について | 案内・申請

過去の気象データ検索 (高層)

各地の気温、降水量、風など | 高層の気温、風など

地点と年月日時を選択して、表示するデータの種類を選択してください。検索条件を全てクリア

地点の選択	年月日時の選択	データの種類の選択
地図から選択 [地図] [検索]	2018年 1998年 1月 1日 16時 9時 2017年 1997年 2月 2日 17時 21時 2016年 1996年 3月 3日 18時 2015年 1995年 4月 4日 19時 2014年 1994年 5月 5日 20時 2013年 1993年 6月 6日 21時 2012年 1992年 7月 7日 22時 3時 2011年 1991年 8月 8日 23時 15時 2010年 1990年 9月 9日 24時 2009年 1989年 10月 10日 25時 2008年 1988年 11月 11日 26時 2007年 1987年 12月 12日 27時 2006年 13日 28時 2005年 14日 29時 2004年 15日 30時 2003年 16日 31時 2002年 2001年 2000年 1999年	指定気圧面の観測データ (地点、年月日時を指定してください) 日ごとの指定気圧面の観測データ (地点、年月日時を指定してください) 気温・湿度の観測データ (地点、年月日時を指定してください) 風の観測データ (地点、年月日時を指定してください) 月ごとの値 (地点、年月時を指定してください) 年・月ごとの年平均 (地点、時を指定してください) 日ごとの年平均 (地点、月時を指定してください) 地点ごとの観測史上1~10位の値 (地点、時を指定してください)

新着情報

- 高層のデータについては、データ精査作業のためデータ掲載が遅れることがありますので、あらかじめご了承ください。(2018年2月13日)
- 高層の「観測」「輸送」「松江」「潮岬」については、観測機器改修作業のため当面の間、データ掲載が遅れますのでお知らせします。(2018年1月30日)

過去のお知らせ

※ 掲載している気象データは、過去にさかのぼって修正する場合があります。ご利用の際には、最新の掲載データをご確認ください。なお、主な修正については、新着情報の中でお知らせします。



データについて(詳細) - 松本空港実測

はじまりを、つくる



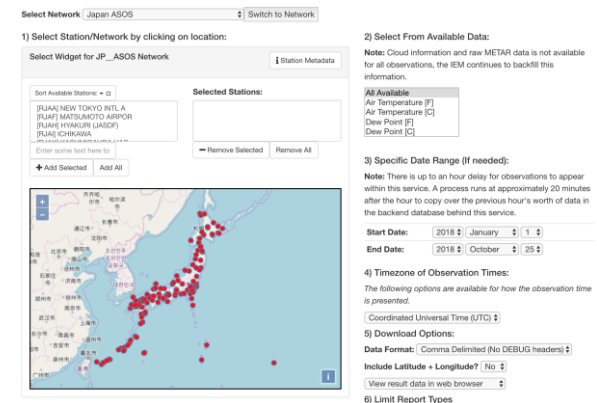
日本時間9時30分の松本空港の天候

データ入手先：IEM

https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=JP__ASOS

データの内容

- tmp 松本空港の温度
- vsby 視程 (どれくらいよく見えるか)
- dwp 松本空港の露点
- gust 風が息をしているときに、最大風速
- relh 湿度
- sky1 地上から1層目の雲の量
- dir 風向
- sky2 地上から2層目の雲の量
- spd 風速
- sky3 地上から3層目の雲の量
- alt 気圧
- vis1 地上から1層目の雲の高さ
- vis2 地上から2層目の雲の高さ
- vis3 地上から3層目の雲の高さ



基本分析 – 相関係数行列



データ間の関係を把握するために、相関係数行列を作成した。
(文字列データについては割愛)

その中で、相関があったものは以下である。

・風速に関するもの

fx106_00_700spd, fx106_03_700spd :0.767
fx106_00_500spd, fx106_03_500spd :0.900
WA_500_12_spd, TA_500_12_spd :0.748
WA_500_12_spd, TA_700_12_spd :0.718

同じ気圧地点での風速は関係がある

・気温

WA_500_12_temp, TA_500_12_temp :0.931
WA_500_12_temp, WA_700_12_temp :0.909
WA_500_12_temp, TA_700_12_temp :0.901
WA_500_12_temp, tmp :0.732
TA_500_12_temp, WA_700_12_temp :0.834
TA_500_12_temp, TA_700_12_temp :0.881
WA_700_12_temp, TA_700_12_temp :0.946
WA_700_12_temp, tmp :0.811
TA_700_12_temp, tmp :0.757

異なっている地点でも
気圧にかかわらず温度に関係がある

基本分析 – 相関係数行列



データ間の関係を把握するために、相関係数行列を作成した。(続き)

・気温 露点

WA_500_12_temp, dwp	:0.776	地点にかかわらず温度と露点は関係がある
TA_500_12_temp, dwp	:0.720	
WA_700_12_temp, dwp	:0.834	
TA_700_12_temp, dwp	:0.808	
tmp, dwp	:0.918	

・風速 気圧

fx106_00_500spd, fx502_00_alt	:0.778	等高線の本数と気圧は関係がある
fx106_03_500spd, fx502_00_alt	:0.776	

・その他

vis2, vis3	:0.784
------------	--------

また、相関が明確に出なかったが、負の相関があったものは以下である。

fx106_03_500spd, tmp	:-0.661	風が強くなると温度が下がる
fx106_00_500spd, tmp	:-0.653	

構造分析 – 松本空港

はじまりを、つくる



乱気流フラグ、松本空港実測のデータから構造分析を行った。

構造学習アルゴリズム：欲張り法（Greedy Strategy）

評価基準：AIC（赤池情報量）

欠損処理：ペアワイズ法

正規化：MAP（Maximum a posteriori）

確率推論：LoopyBP

構造学習ウィザード

構造学習

アルゴリズム Greedy Search -- 欲張り法

評価基準 AIC -- 赤池の情報量

探索の終了条件に追加する項目 クロス集計の平均値 が閾値以下になったら探索を終了する

閾値 0.01

その他

欠損値処理 ペアワイズ法

正規化 MAP

閾値 4

前へ 終了 キャンセル

[INFO] 構造学習のパラメータを設定します

構造分析 - 松本空港



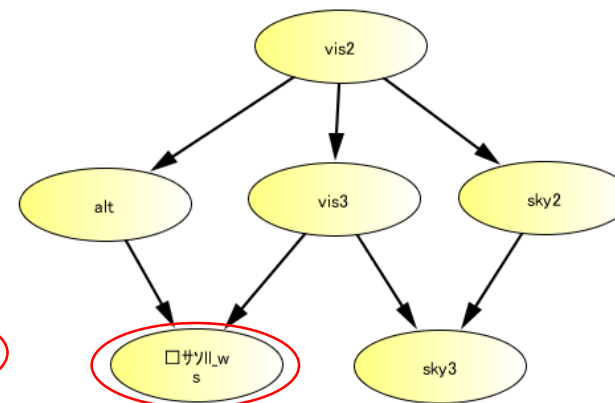
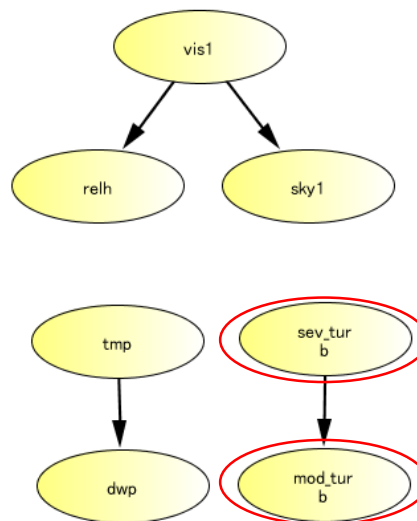
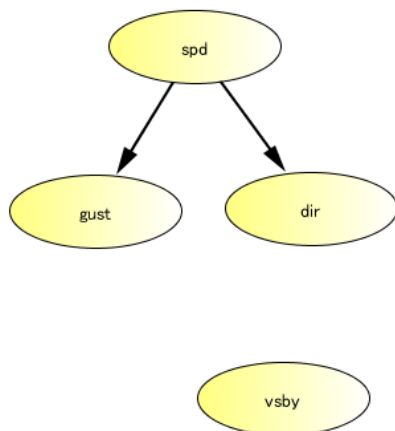
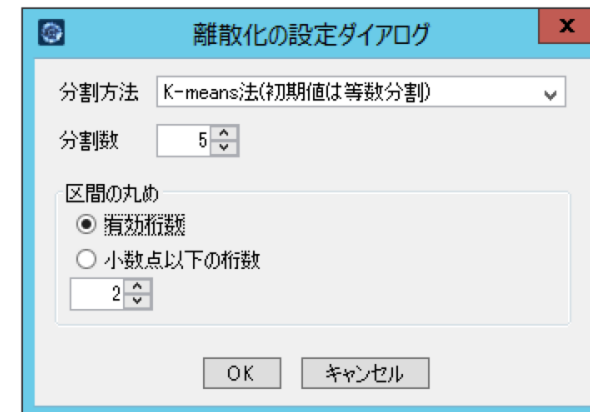
データを離散化し、構造分析を行った。

分割方法：K-means法

分割数：5

その時の結果は以下のようになった。

○は、乱気流フラグ



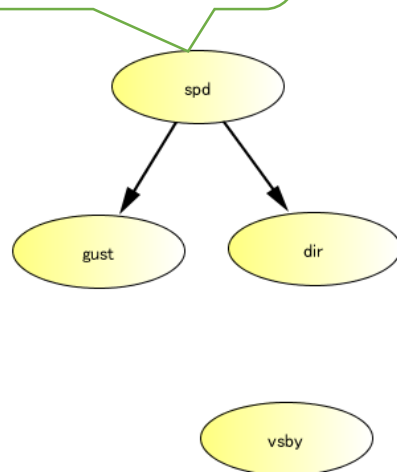
構造分析 - 松本空港



- 乱気流フラグである、sev_turb, mod_turbが、同じネットワークに
- 抵高度乱気流を表すll_wsが気圧alt、雲の高さvis2, vis 3 に影響

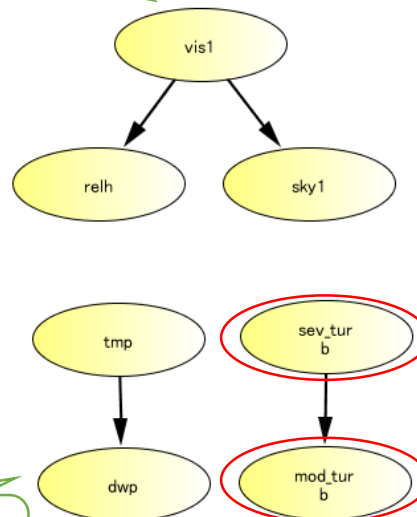
風速に影響

風向
風が息している時の最大風速



1層目の雲の高さに影響

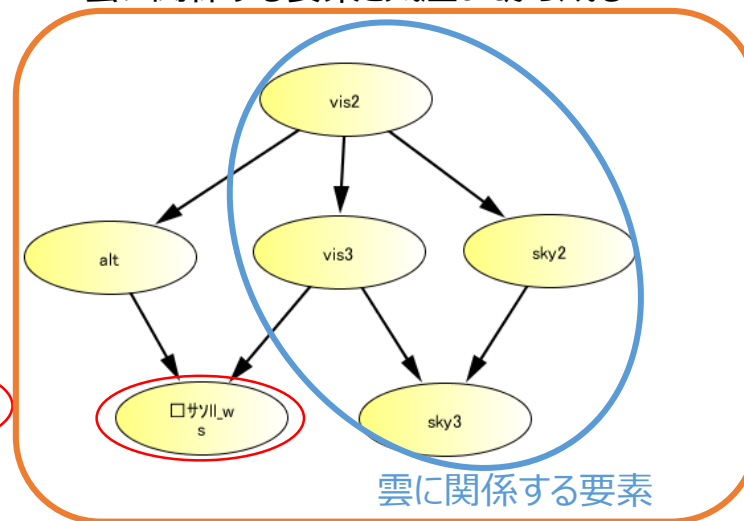
湿度
1層目の雲の量



温度影響

露点

雲に関する要素と気圧altから成る



感度分析 - 松本空港



目的変数をll_wsとして感度分析を行った

乱気流が吹く確率が高い上位(確率の差分 増加ランキング)

順位	sky2	vis3	vis2	sky3	alt	ll_ws	ll_ws.0	ll_ws.1	差分	リフト値
1		~6700.0]					0.92485635	0.07514365	0.04013	2.14614
2			~2900.0]				0.94149423	0.05850577	0.02349	1.67095
3				BKN			0.94533568	0.05466432	0.01965	1.56124
4					~30.0]		0.94772044	0.05227956	0.01727	1.49313
5			(2900.0~7200.0]				0.95161171	0.04838829	0.01337	1.38199
6	SCT						0.95198085	0.04801915	0.01301	1.37145
7				OVC			0.95318604	0.04681396	0.0118	1.33703
8	BKN						0.95842466	0.04157534	0.00656	1.18741

気圧よりも、雲に関係する要素が乱気流発生に影響しやすいことがわかった。
(2,3層目の雲高く、量が多い。また気圧は高い。)

注：雲の量について

SKC : 雲がない

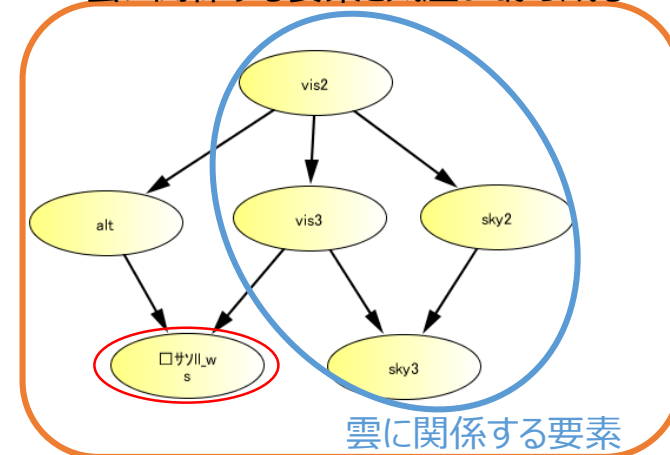
FEW : 全天の1/8 ~ 2/8を覆う雲

SCT : 全天の3/8 ~ 4/8を覆う雲

BKN : 全天の5/8 ~ 7/8を覆う雲

OVC : 全天を覆う雲

雲に関係する要素と気圧altから成る

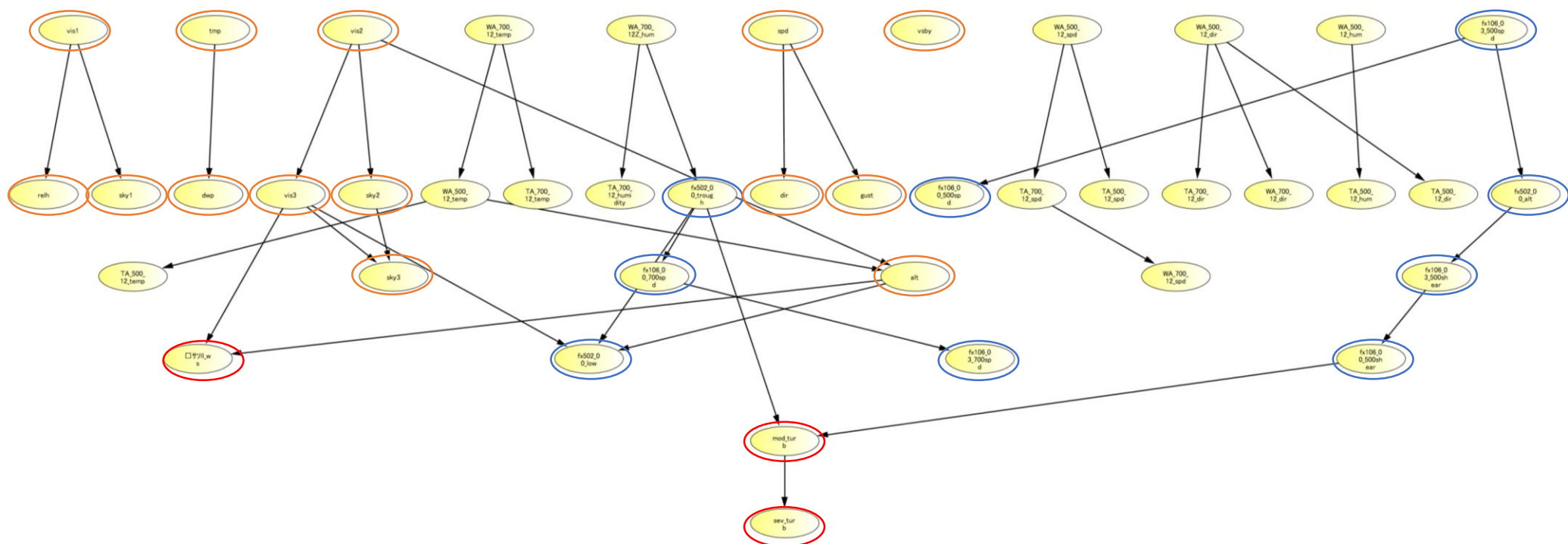


構造分析 - 全体



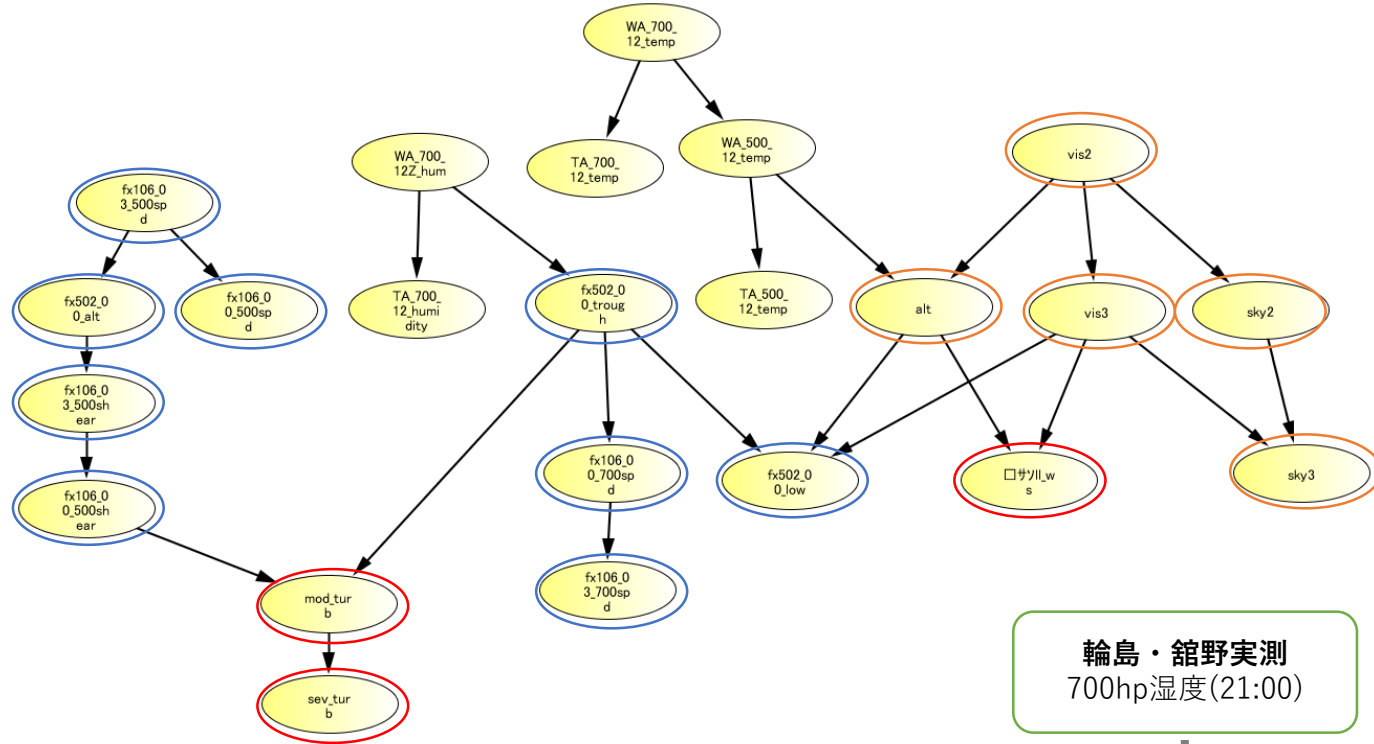
全てのデータを離散化し、構造分析を行った

- は、乱気流フラグ
- は、気象図予想
- は、輪島・館野実測
- は、松本空港実測



構造分析 - 全体

乱気流フラグと同じネットワークになったものを抽出し、模式図で表示



気象図予想
速度、風速差
(9:00,12:00)

輪島・館野実測
700hp湿度(21:00)

輪島・館野実測
500,700hp気温
(21:00)

深い気圧の谷があるか？

松本空港実測
気圧、雲の量・高さ
(9:30)

気象図予想
速度(9:00,12:00)

低気圧があるか？

低高度乱気流発生

山岳派による乱気流発生

感度分析- 全体

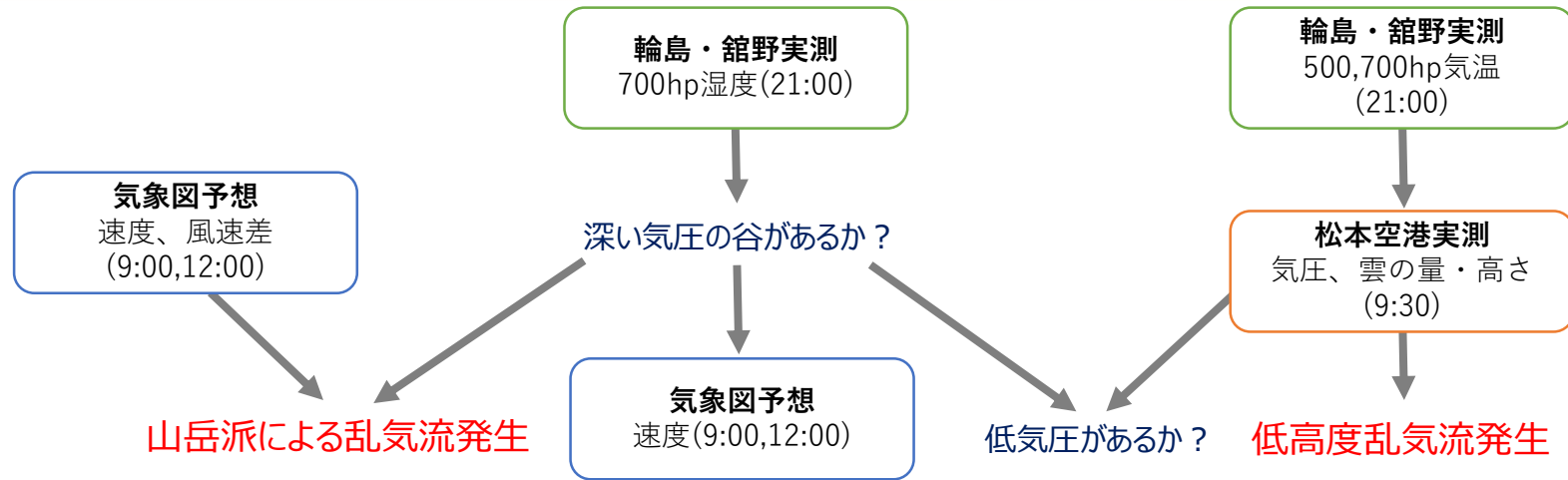


山岳派による乱気流発生(sev_turb)を目的変数として感度分析
(低高度乱気流発生の感度は松本空港データでの分析と同様)

乱気流が発生する確率が高い上位ランキング

順位	fx502_00_low	mod_turb	fx106_00_7 00spd	fx502_00_t rough	fx106_00_5 00shear	fx502_00_a lt	fx106_03_5 00shear	sev_turb	sev_turb.0	sev_turb.1	確率の差分	リフト値
1		1						0	0.6	0.4	0.37933	19.35085
2					(8.4~			0.92028166	0.07971834		0.05905	3.85654
3				1				0.94824039	0.05175961		0.03109	2.50398
4							(11.0~	0.94834767	0.05165233		0.03098	2.49879
5	1							0.95744552	0.04255448		0.02188	2.05866
6							(7.5~11.0]	0.96740275	0.03259725		0.01193	1.57696
7			(45.0~					0.96782739	0.03217261		0.0115	1.55642
8						(2.6~		0.9692324	0.0307676		0.0101	1.48845

500hp面にける風速差が小さく、深い気圧の谷・低気圧がある時に
乱気流が発生しやすい



- **[低高度乱気流発生]**：航空機離着陸に大きな影響
BN結果：2,3層目の雲高く、量が多い。また気圧は高い。
→天候が良くても、雲量が高度に多い場合には、注意が必要

パイロット、エアラインの航空機運航の
安全に寄与

- **[山岳派による乱気流発生]**：山地、特殊な地形に空港がある場合（松本空港）
500hp面にける風速差が小さく、深い気圧の谷・低気圧がある時に
乱気流が発生しやすい
→気圧の谷があるが、様々な方向から風が吹くことで乱気流が発生している

今後の課題と方向性



- 高層データだけでなく、地上データでのネットワークを作成
高層データと合わせて関係性を明らかにする
- 乱気流の有無は現在、パイロットからの報告に依存
→発生の有無を測定することで、より精度よい指標の作成が可能
- ベイジアンネットワーク で得られた結果から、シミュレーションを実施し、解析結果の動的評価を実施する
- オープンデータ取得範囲を広げ、日本各地の空港で同様の評価を実施する
- 得られた結果を安全に寄与できる形で、現場へのフィードバックを行う

参考文献



[参考文献]

国土交通省：平成21年度国土交通白書，第II部 国土交通行政の動向，第6章安全・安心社会の構築，2010，p. 171

<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h21/hakusho/h22/pdf/kp260000.pdf>

国交省交通政策審議会航空分科会第2回航空保安システム整備部会参考資料2-2

http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koku/hoan/2/images/sankou2_2.pdf

佐藤昌之, and 横山信宏. "モデル予測制御を用いた突風軽減制御: 事前乱気流情報および機体運動状態量の観測誤差に対するロバスト性." 日本航空宇宙学会論文集 59.689 (2011): 160-167.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsass/59/689/59_689_160/_pdf/-char/ja

福家皎, and 津島優. "乱気流デテクションの現状とレーザの利用." 日本航空宇宙学会誌 30.336 (1982): 34-43.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsass1969/30/336/30_336_34/_pdf/-char/ja

浅原隆, 稲垣敏治, and 井之口浜木. "航空機搭載型ドップラーライダーによるスペクトルフィッティング法を用いた乱気流検知." 日本航空宇宙学会論文集 59.692 (2011): 236-243.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsass/59/692/59_692_236/_pdf/-char/ja

横山信宏, and 井之口浜木. "実時間最適化による乱気流回避経路生成アルゴリズム." 日本航空宇宙学会論文集 59.685 (2011): 42-53.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsass/59/685/59_685_42/_pdf/-char/ja

林千瑛, and 張替正敏. "最適予測制御による乱気流中の航空機の揺れの制御." 日本航空宇宙学会論文集 58.677 (2010): 164-170.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsass/58/677/58_677_164/_pdf/-char/ja

佐藤昌之, and 遠藤栄一. "乱気流およびそれに伴う加速度のスペクトル解析." 日本航空宇宙学会論文集 56.653 (2008): 293-295.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsass/56/653/56_653_293/_pdf/-char/ja