

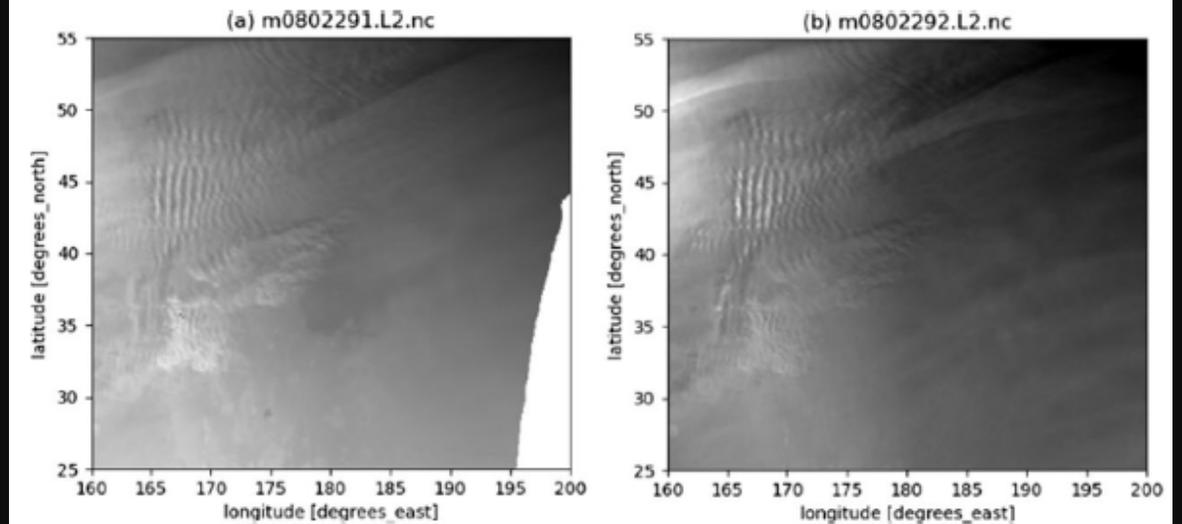
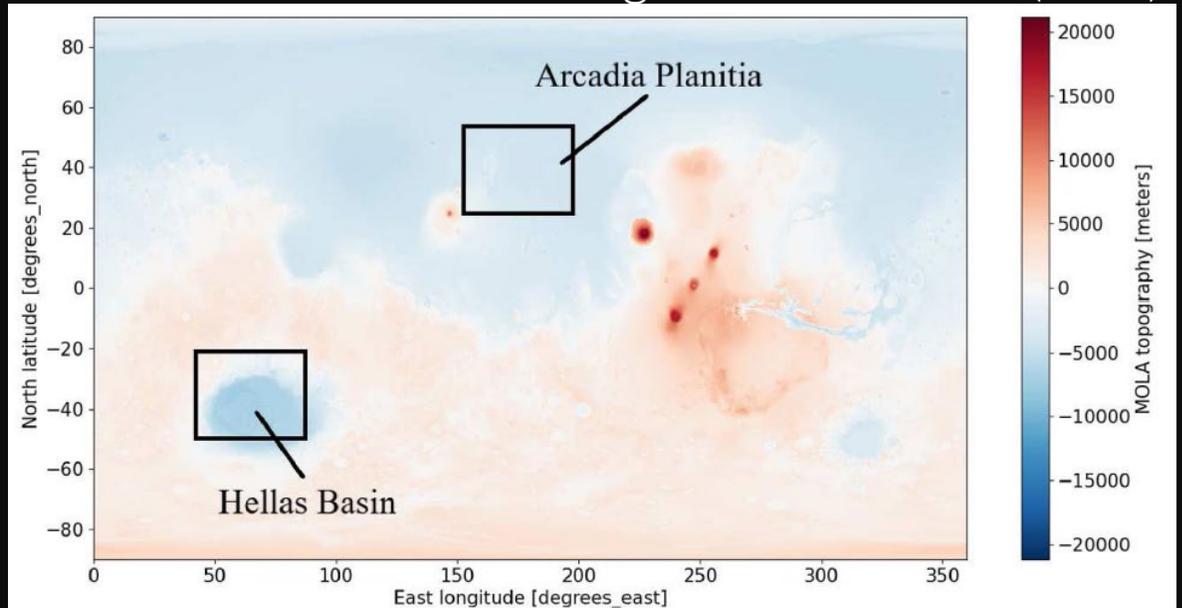
火星北半球における風下山岳波に伴う 波状雲の形成高度

小郷原一智, 樓麻彩 (京都産業大学)

Arcadia平原西部の波状雲

- MGS/MOC, MRO/MARCIなどのイメージャによってよく観測される
- ダストストームを探しているときによく見つかる
- 関係ない論文で査読者とやり取りしている時に、「この縞々は風下山岳波だと思うからダストストームではなくて. . . .」とかいうと、「そうそう, その通りだよな」みたいな感じで、(一部で) 認知度は高い。
- だけど, 論文はなかった。

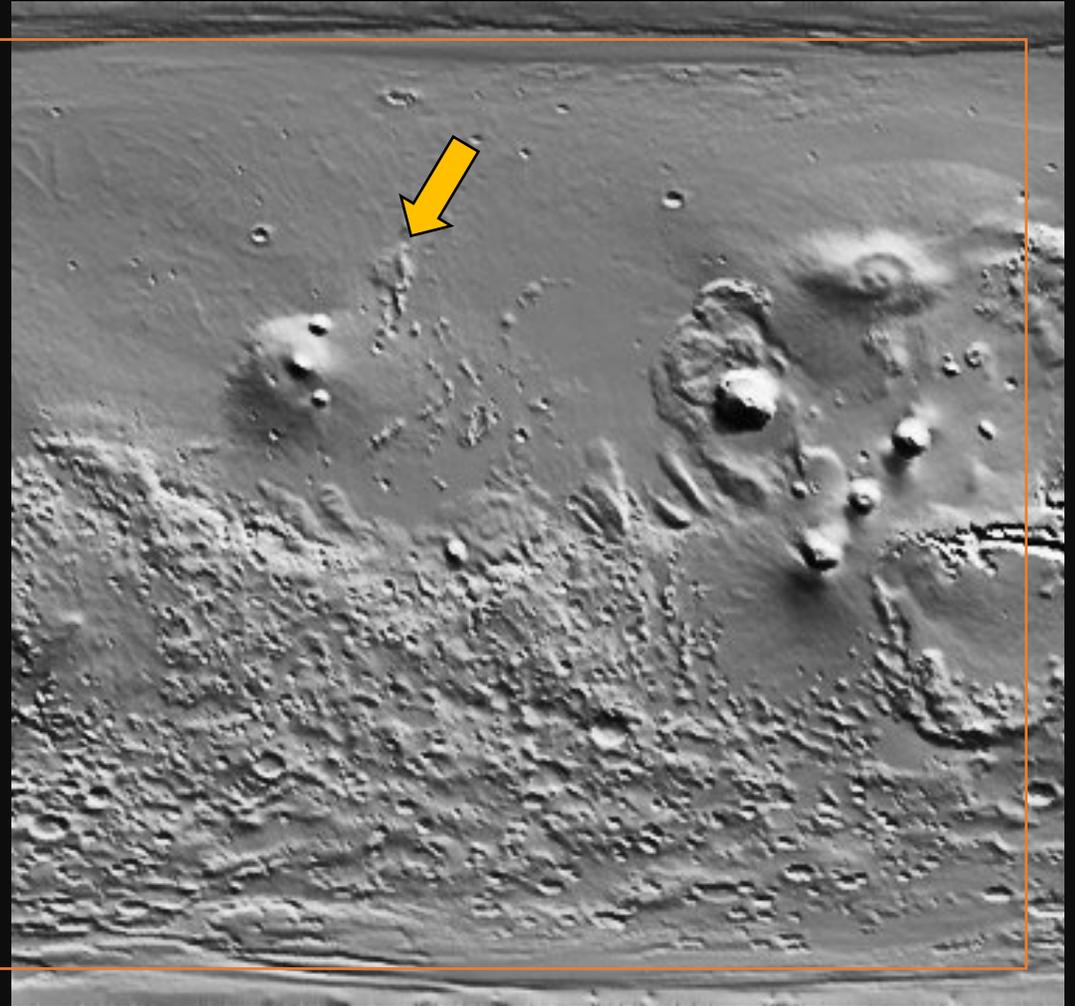
Ogohara and Gichu (2022)



Ogohara and Ro (2023)

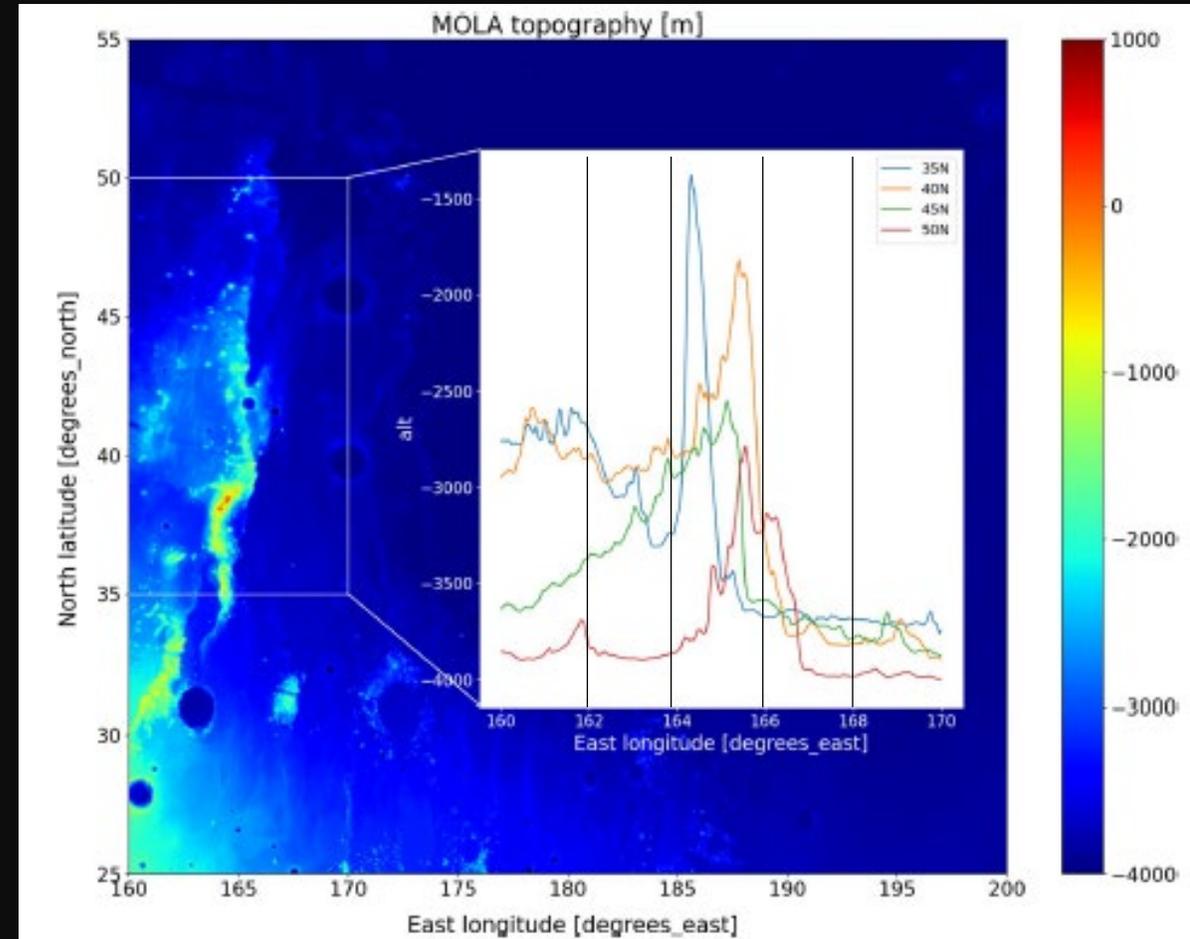
目的

- Arcadia平原西部にあるPhlegra Montes付近の波状雲の頻度，波長の季節性を確認する。
- 再解析データと合わせて，形成高度を推定する



使用データのまとめ

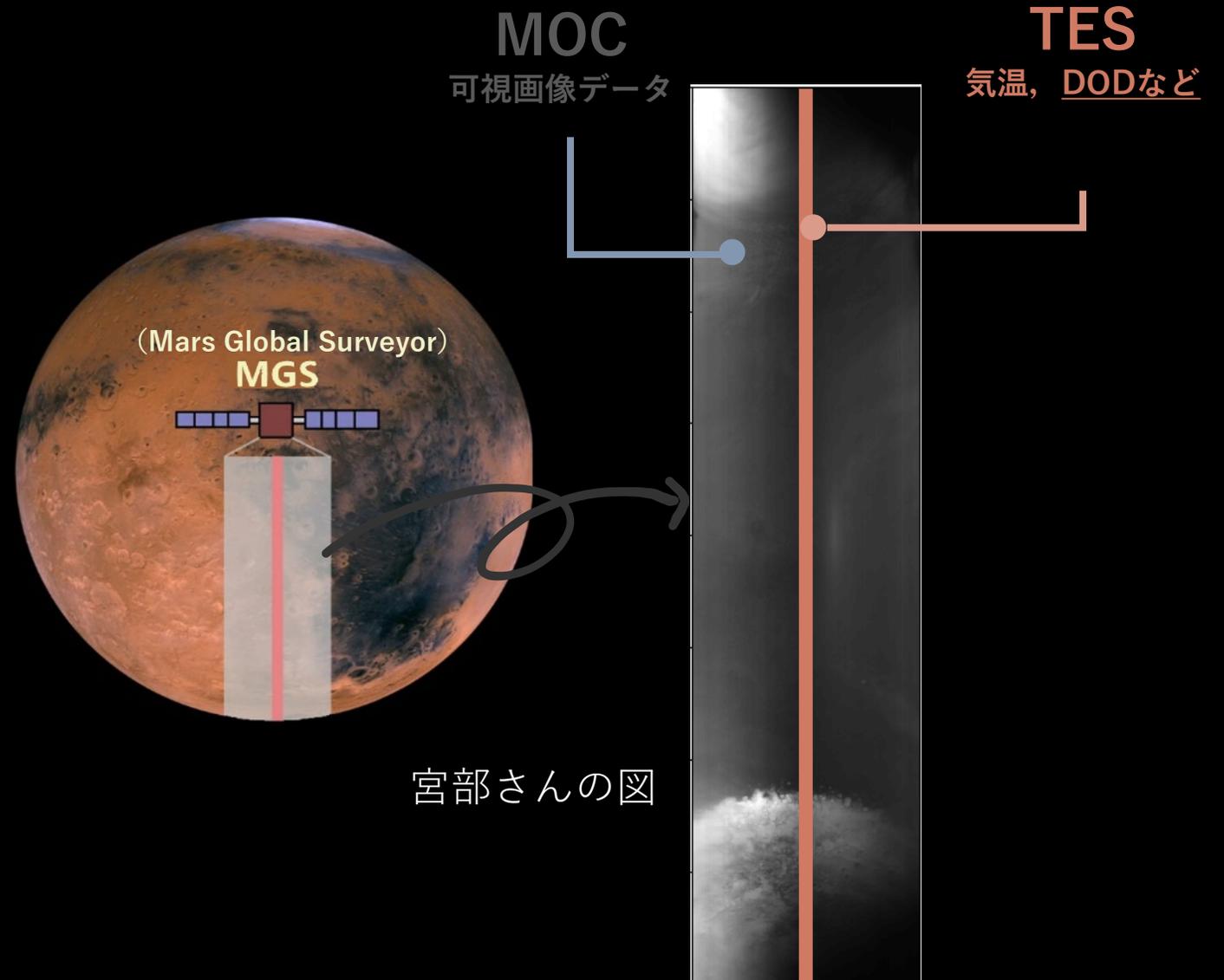
- MGS/MOC, Blue band
 - Arcadia Planitia (180E40N) と the Phlegra Montes
 - Global swath から切り出された $40^\circ \times 30^\circ$ の領域
 - 2,476枚 = 2,476 sols
- EMARS reanalysis dataset (Greybush et al., 2019)
 - MGS/TES temperatureの同化
 - ダストカラム量は観測に近づける
 - 6 deg x 5 deg



40Nで経度1 deg = 45 km

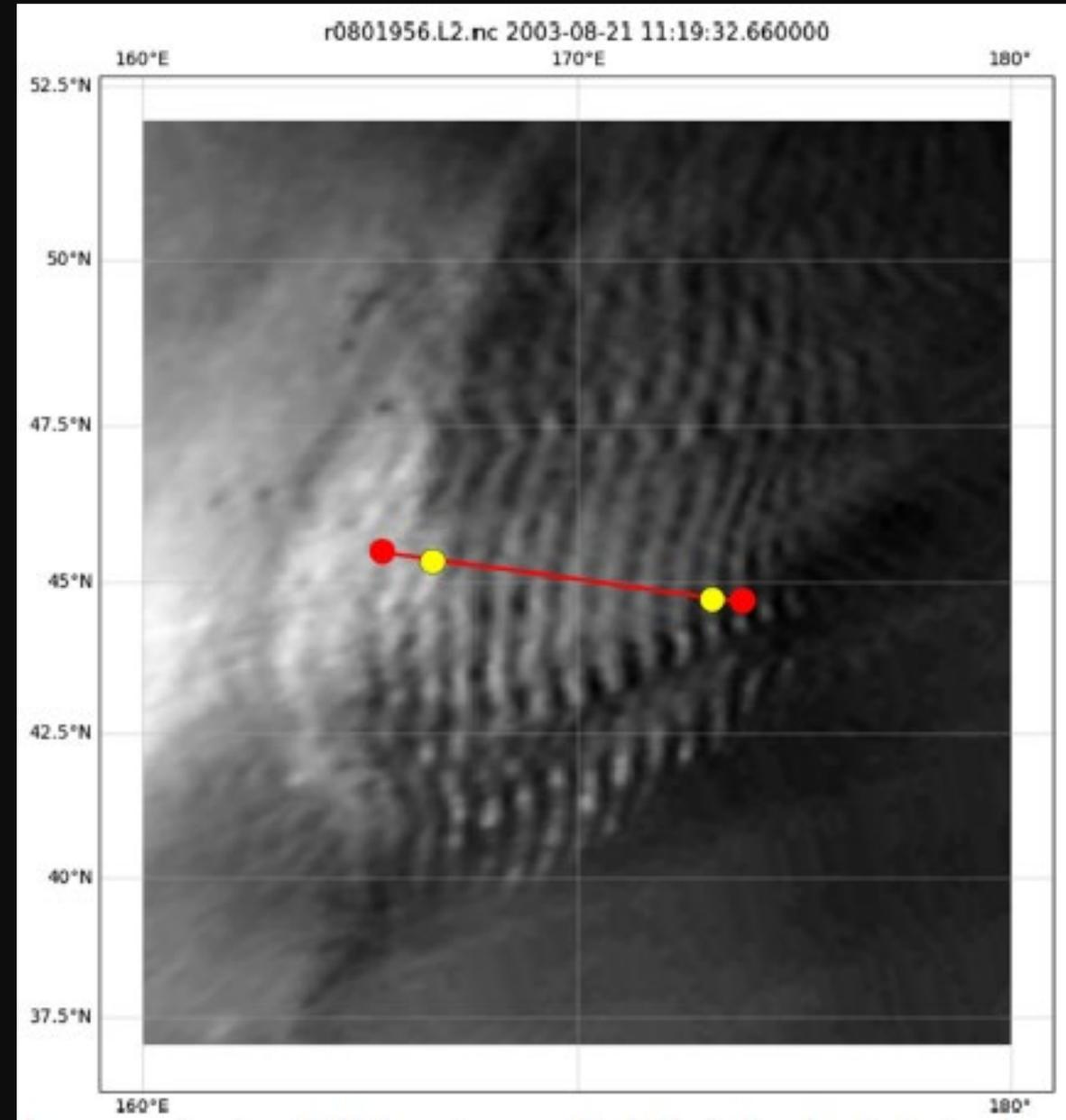
観測

- Mars Global Surveyor / Mars Orbiter Camera Wide Angle
- 南極から北極に向かってスキャン。南北方向の帯 (global swath) ができる。
- 周期2時間。太陽同期極軌道なので、探査機直下点はいつも14:00LT (or 02:00LT)。



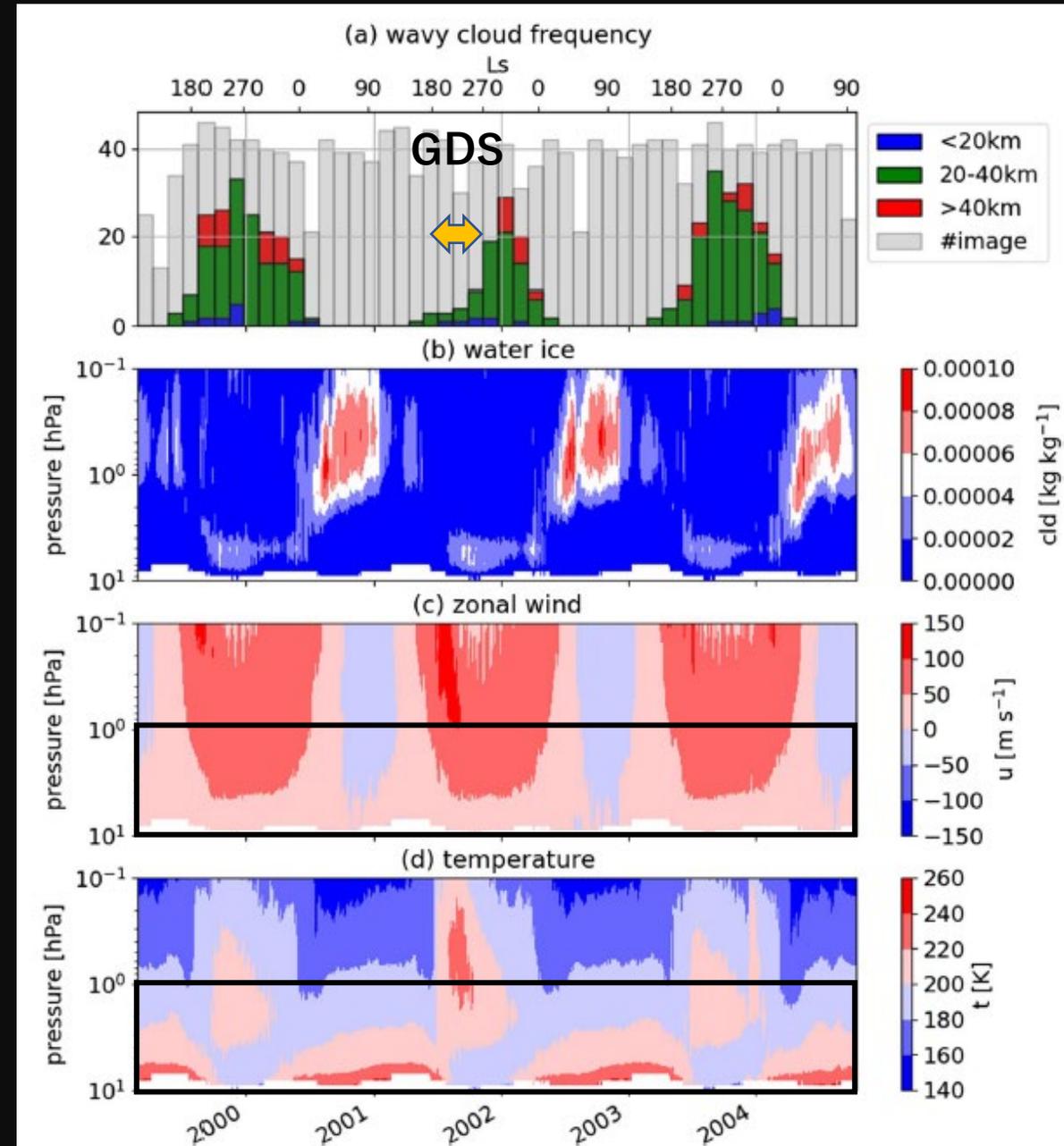
波長の計測

- お手製GUIを使って、等位相線にざっくり垂直になるように線分を引く（赤点、赤線）。線分内のもっとも外側の極大値をとる2点を決める（黄点）。この2点間の極大値の数を求めて、平均波長を求める。
- 求められるものは、厳密には東西波長ではなくて、波面に垂直な方向の波長。



数えた結果と背景場

- Peak season: 北半球冬季
 - 解像度の粗いGCMで雲ができるくらいには、下層大気は湿っている
 - 大気はとても安定
 - 西風ジェット強し
- Greybushさんの手違いで、水蒸気が大部分の期間で欠落していたり、彼の論文ではmixing ratioと書いてある変数が、NetCDFの中ではspecific humidityと書いてあったり、水蒸気データを使うのはためらわれた。
- Phlegra Montesの東側の斜面では1波長20-40kmくらいの成分が見て取れるので、良い対応と言えるのではないか。



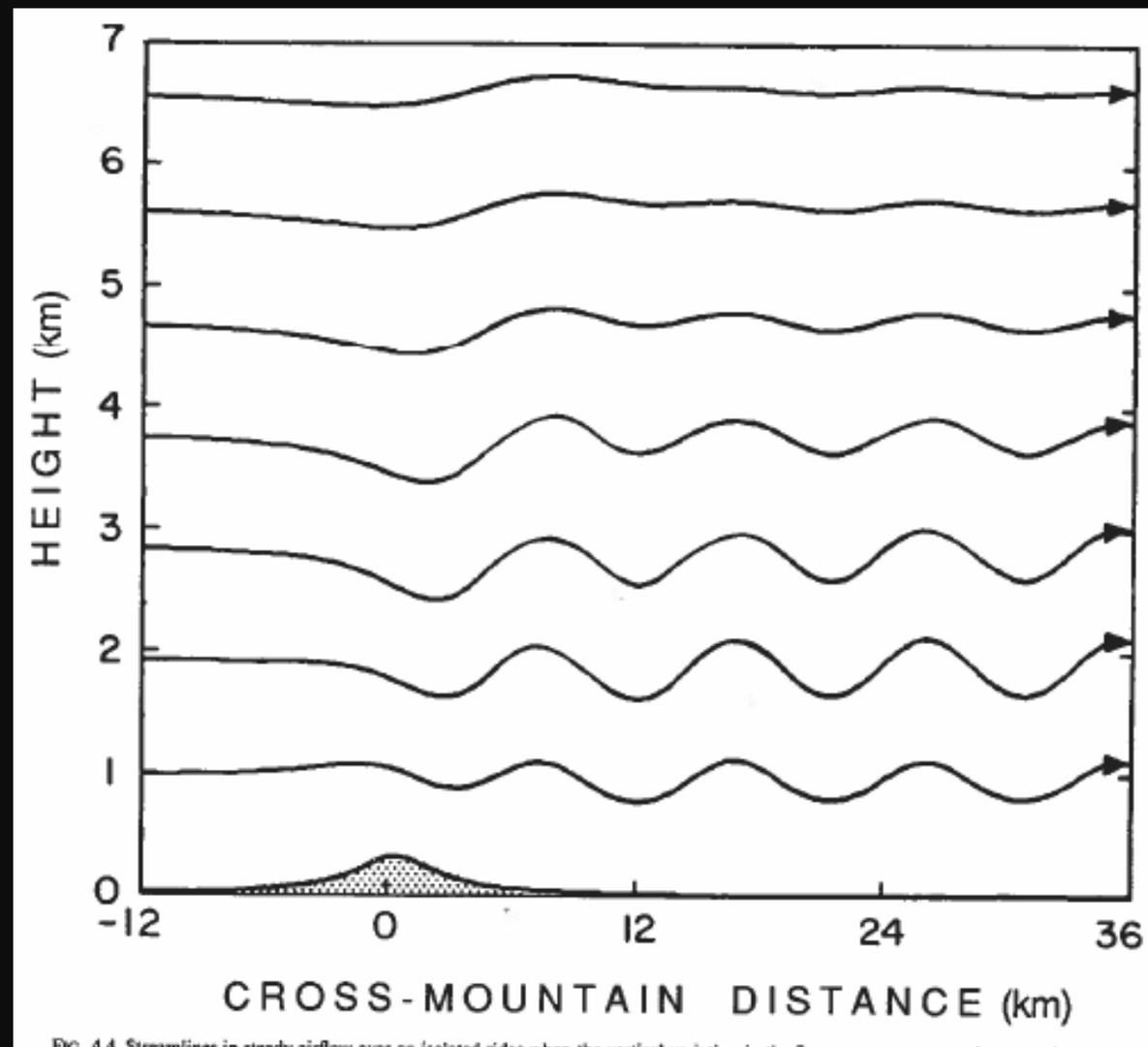
定在波のScorer number

- Durran (1986)とかメソ気象の基礎理論 (小倉) とか

$$\frac{\partial^2 \hat{w}}{\partial z^2} + (l^2 - k^2) \hat{w} = 0,$$

$$l^2 = \frac{N^2}{U^2} - \frac{1}{U} \frac{d^2 U}{dz^2}$$

- \hat{w} : 鉛直風の擾乱の振幅. k : 背景風の向きの波数. N : Brunt-Vaisala frequency. U : 背景風速. l^2 : 定在波のスコラー数 ($U-c$ じゃなくて U だから)
- l^2 は背景場で決まる, k は波源 (山) 依存. いろんな波長がある中で, $l^2 - k^2$ が負になるような k をもつ波は上空に伝播できない
- 波長の短い (k が大きい) 波が上空に伝播できず, 下層にトラップされたときに, 長い雲列が発生する (Durran 1986).



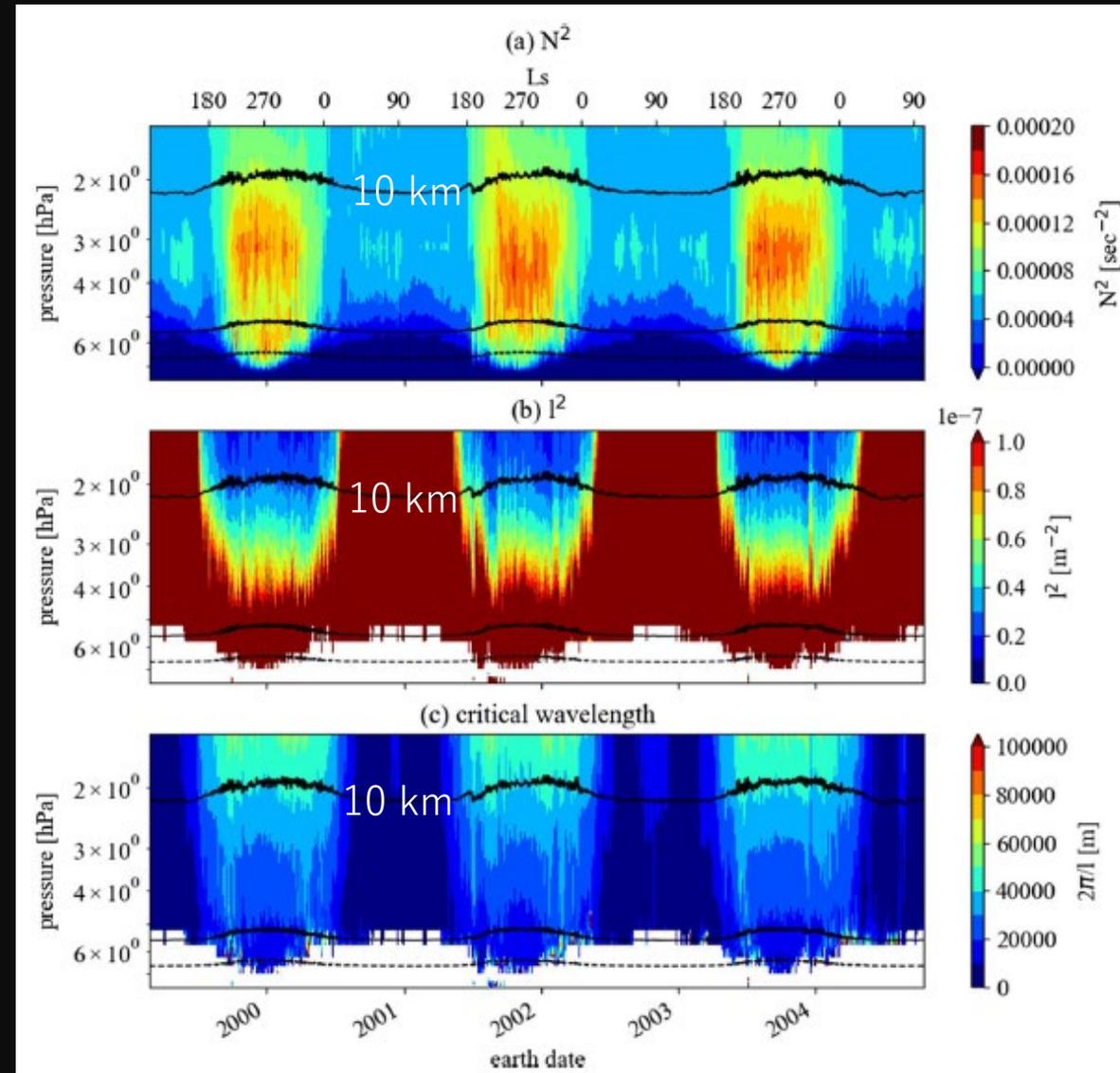
Upper boundary for short wave propagation

- l よりも 波数の大きい定在波は上空に伝播できない。
 l に対応する波長よりも波長が短い定在波は上空に伝播できない。
- 例えば、波長が40kmよりも短い定在重力波は2 hPa より上に行けない。

$$\frac{\partial^2 \hat{w}}{\partial z^2} + (l^2 - k^2) \hat{w} = 0,$$

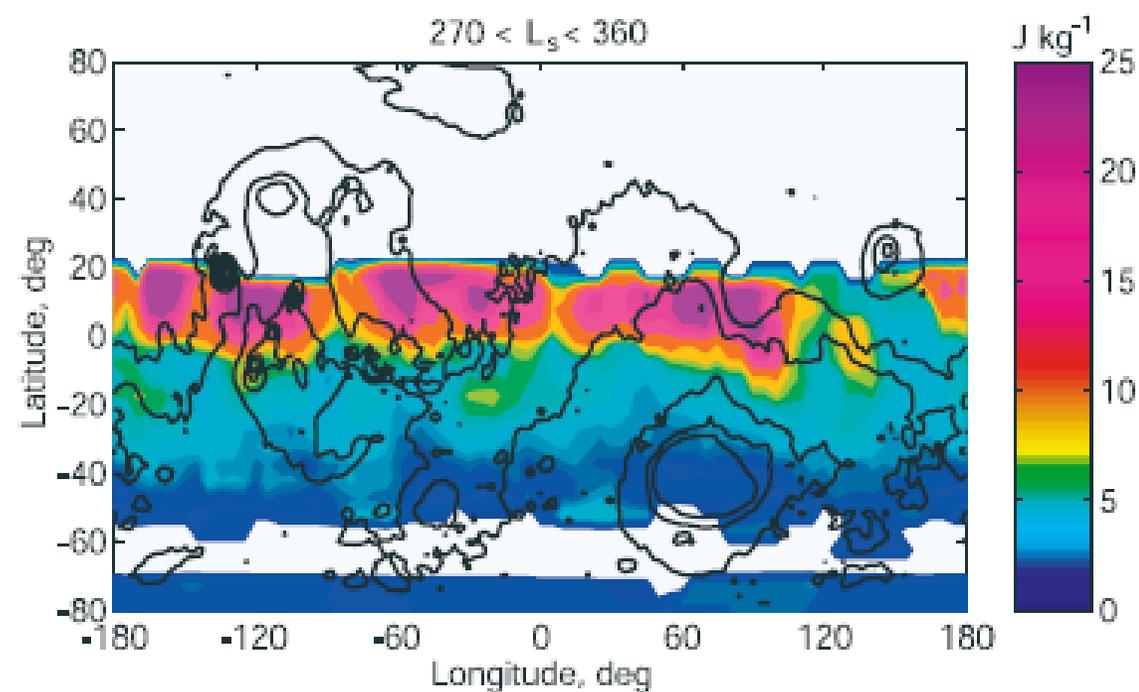
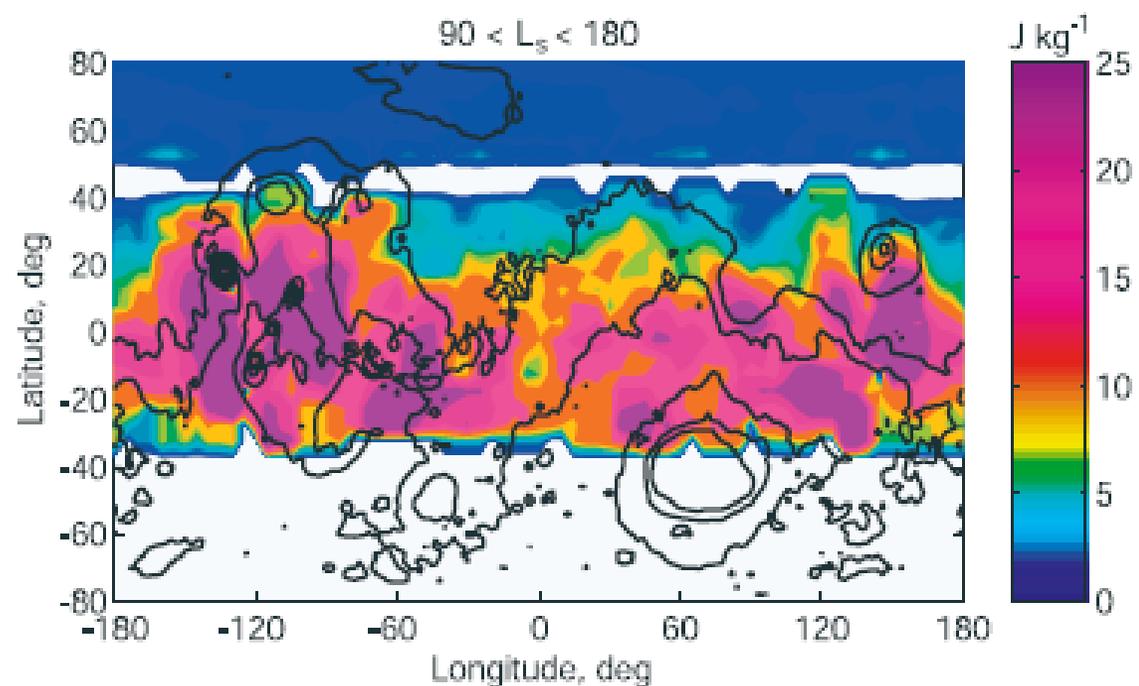
$$l^2 = \frac{N^2}{U^2} - \frac{1}{U} \frac{d^2 U}{dz^2}$$

2P前の図の下半分



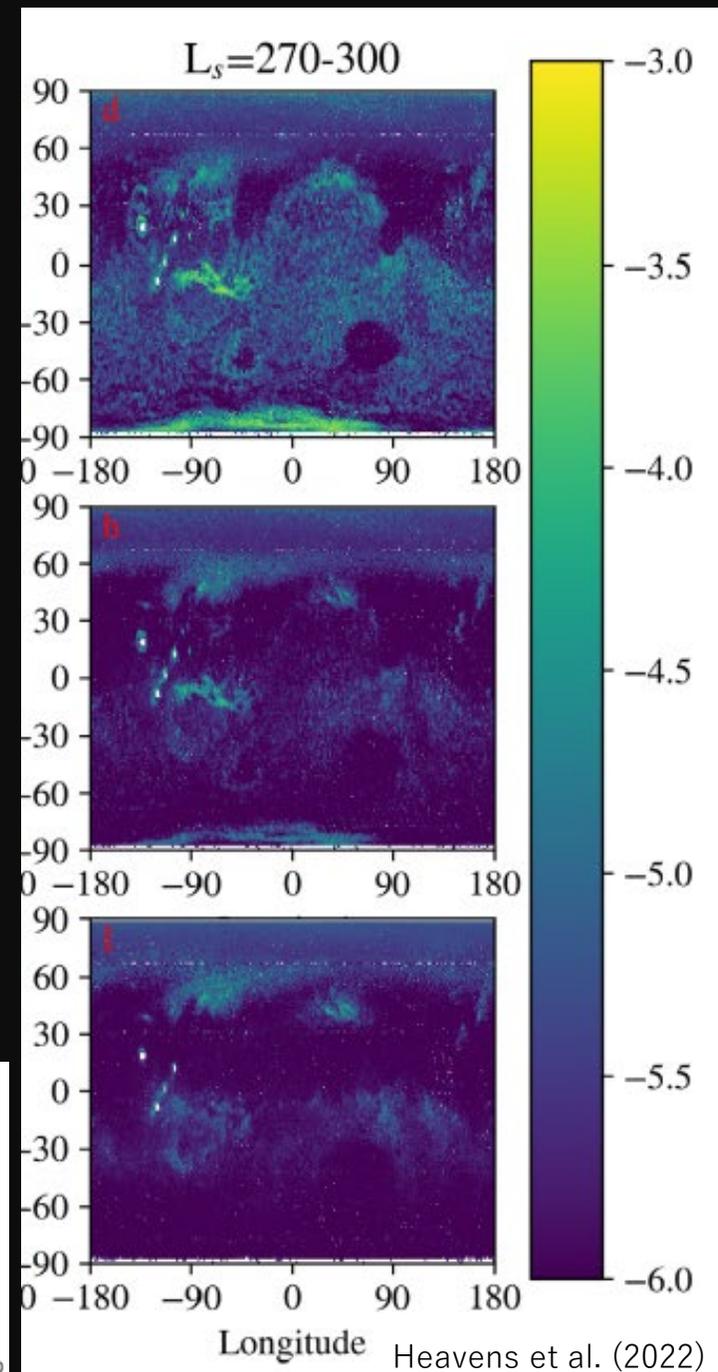
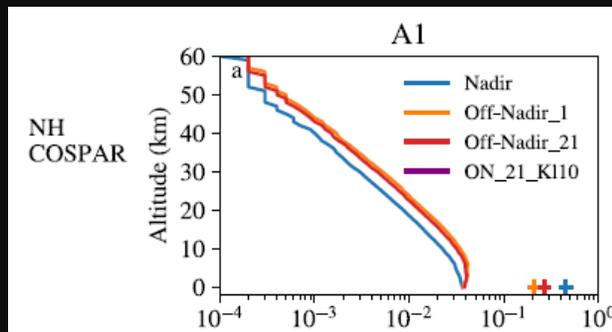
c.f. Creasey

- Creasey et al. (2006)
 - 電波掩蔽
 - 北半球冬季の北半球中緯度にはデータがない



c.f. Heavens

- Heavens et al. (2022) : MRO/MCSの A1チャンネルを使って, 最下層 (<10 km) の温度擾乱を導出する
- 重力波はPhlegra Montes直上にはあるかもしれないが, 東側にはない
 - 東西波長が20-40 kmの重力波には感度がない
 - Weighing functionの東西幅は ~200 km (Wu and Waters, 1996).
 - 今回の風下山岳波はちょうど検出できない



Heavens et al. (2022)

Summary

- 波長雲の頻度のピークは北半球冬
 - 強い西風 → 上空に重力波が伝播できなくなる
 - けど下層は超安定 → 波長40kmくらいまでの山岳波なら、高度10kmくらいまでなら伝播できる
- 波長20-40 km の風下山岳波が10 km以下にトラップされている
- 過去の観測的研究と矛盾しなかった

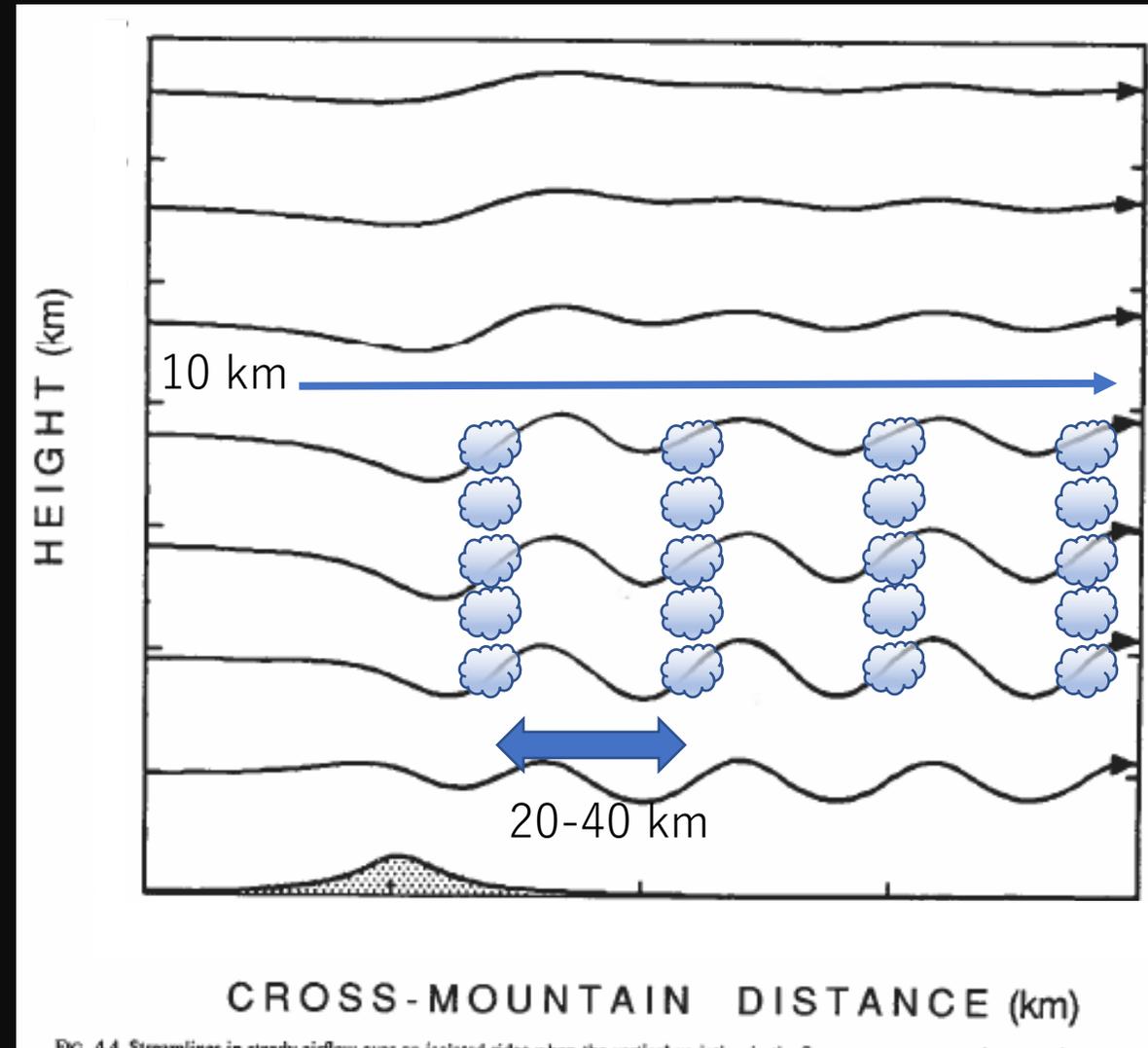


FIG. 4.4 Streamlines in steady airflow over an isolated ridge for the case of a mountain range.