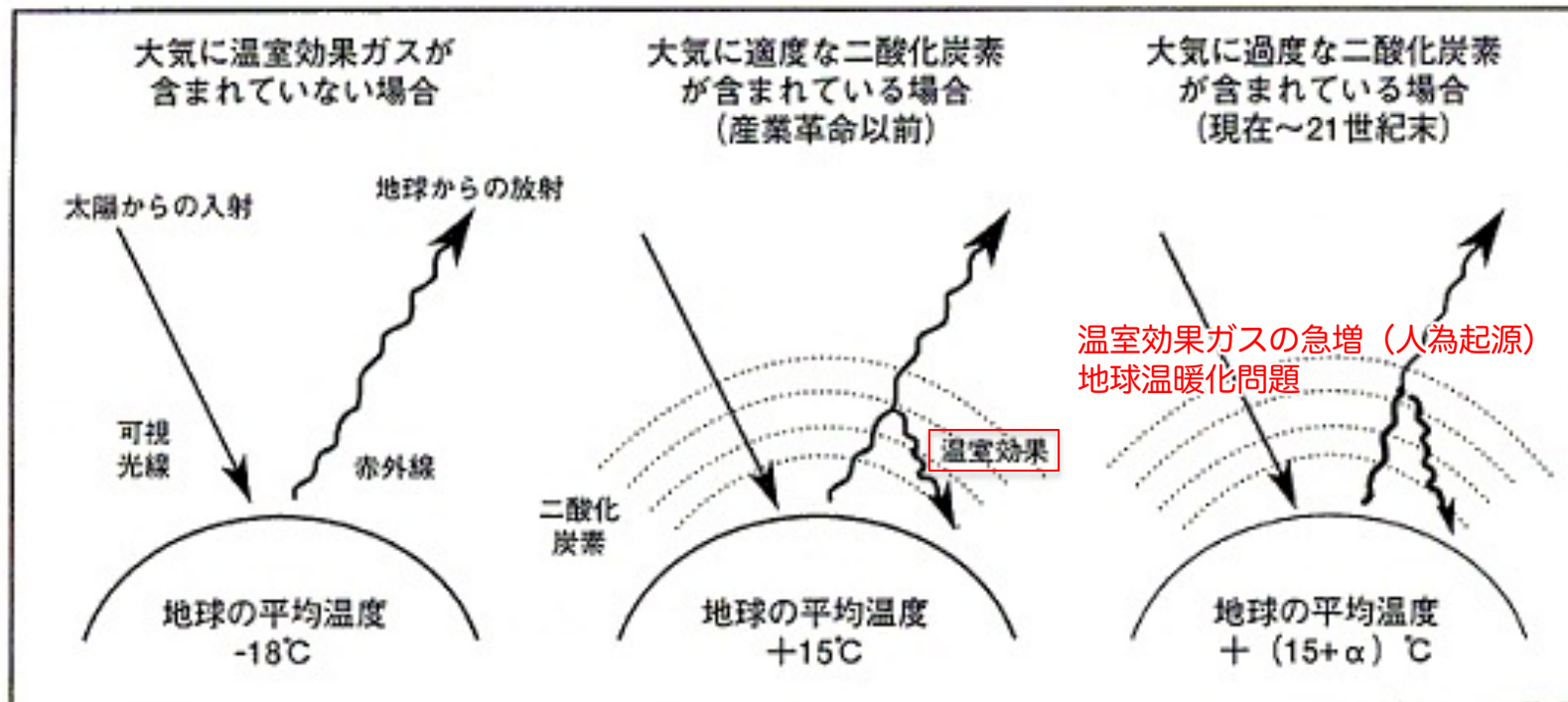


北極・成層圏の大気科学と気候シミュレーション

大気力学の基礎

- 大気の波って何？
- 地球のエネルギーバランスを均衡化
- なるべく式は使わずに
- 力学的な概念を知識として蓄積

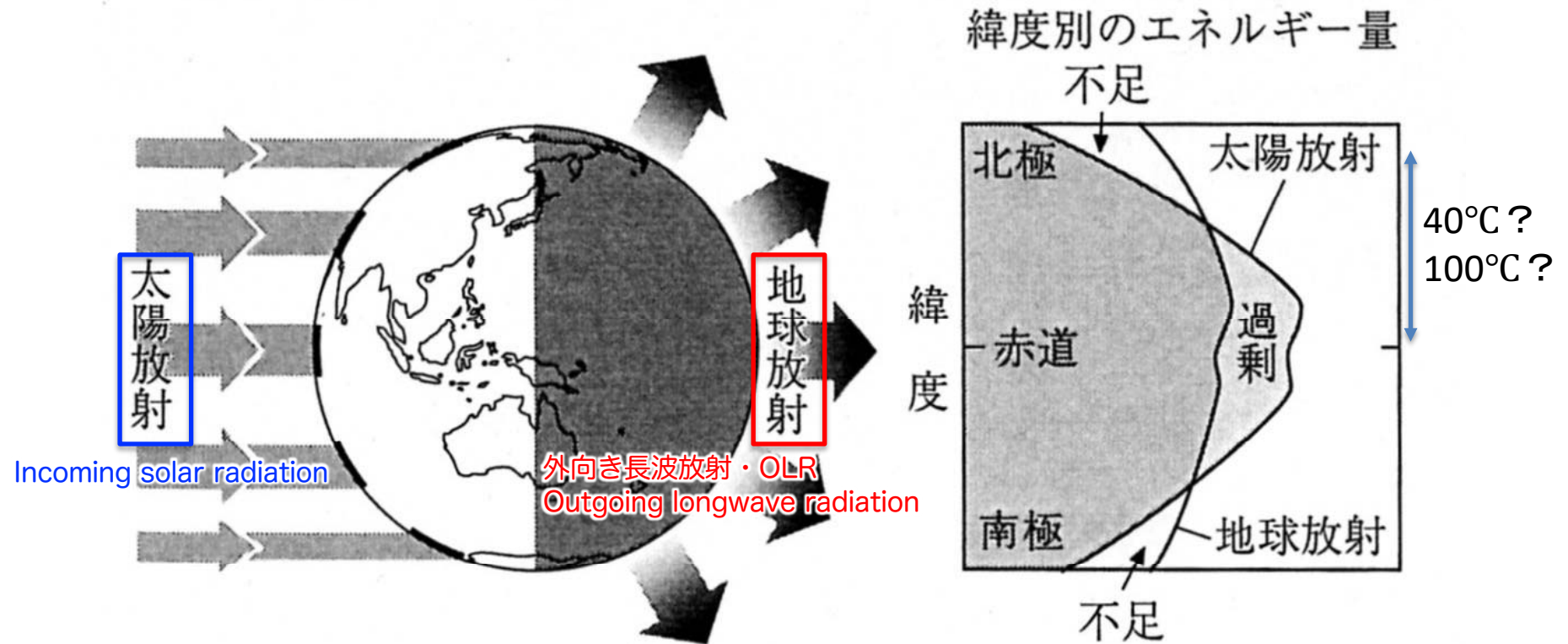
地球の放射エネルギーバランス



$$\sigma T^4 = S (1-\alpha) / 4$$

出典：IPCC, 気象庁

地球の放射エネルギーバランス



地表が受ける太陽放射の量は緯度により大きく異なるが、地表が放つ地球放射の量は太陽放射ほど変わらない。このため場所により熱収支に過不足を生じる

図 6－8 太陽放射量と地球放射量の緯度分布

大気（と海洋）による北向き熱輸送

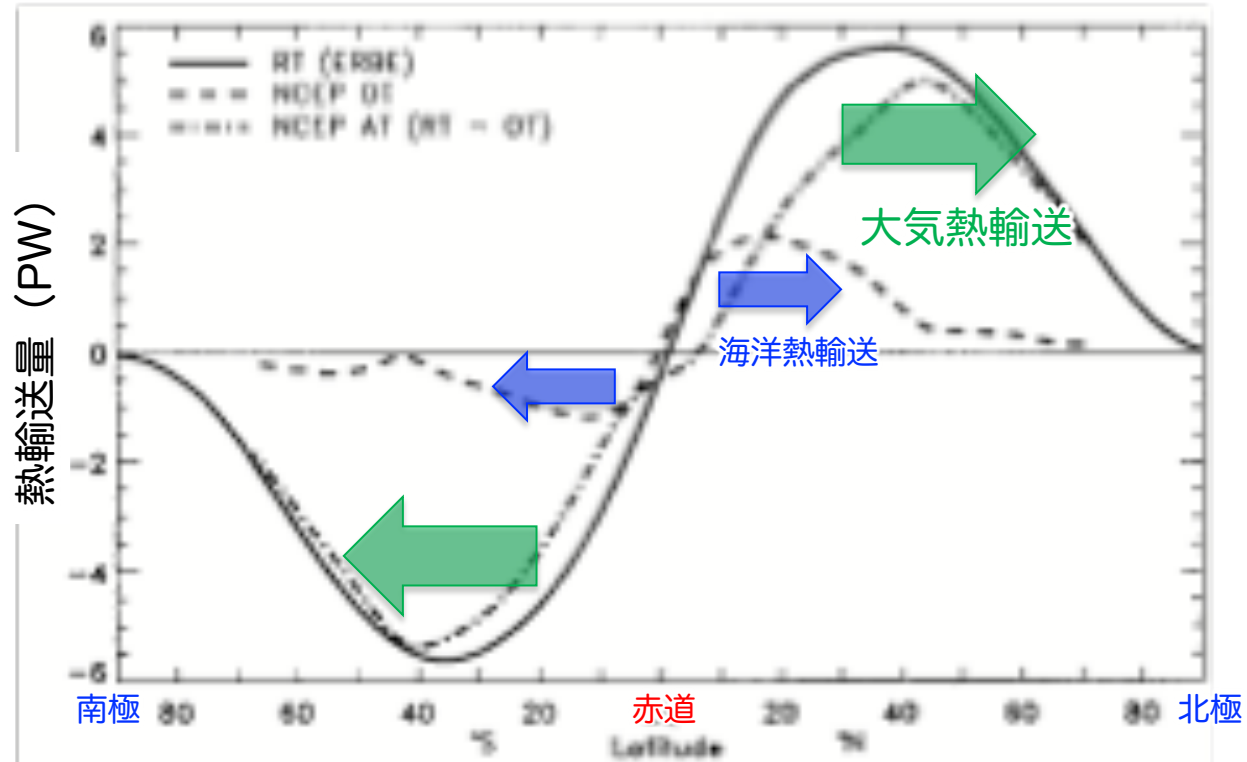
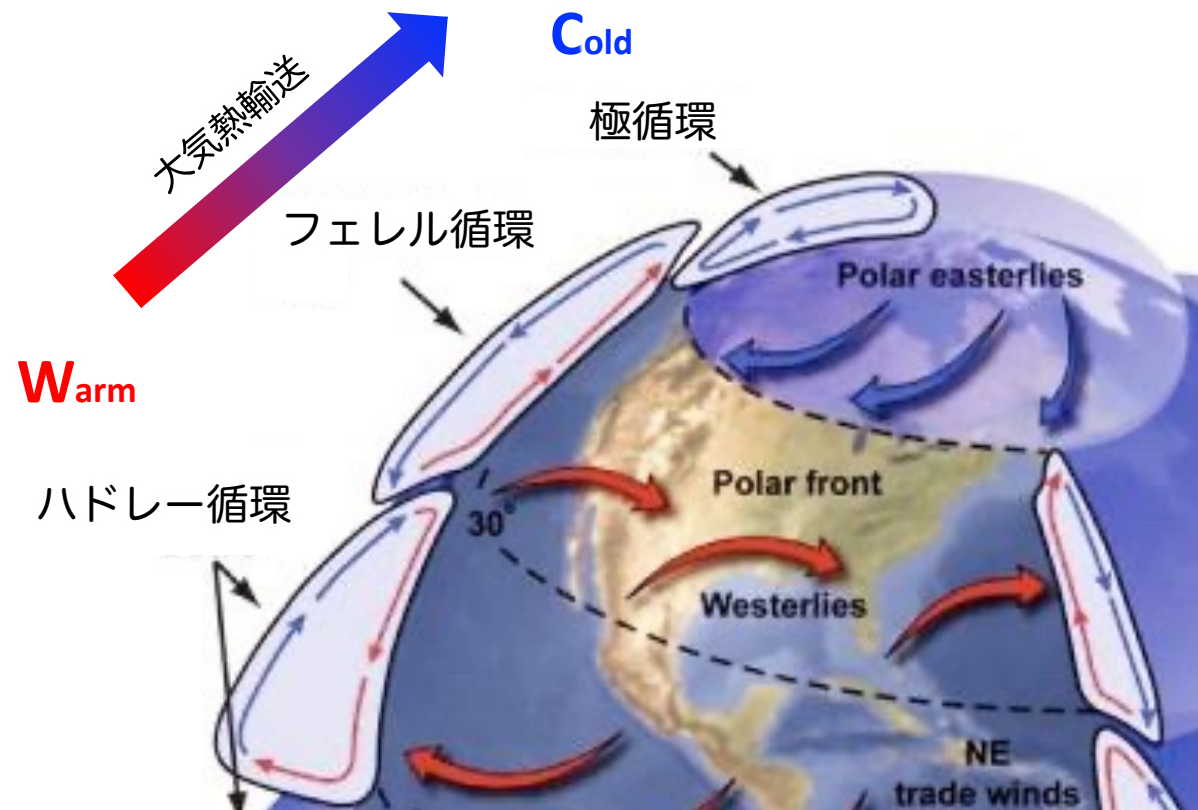
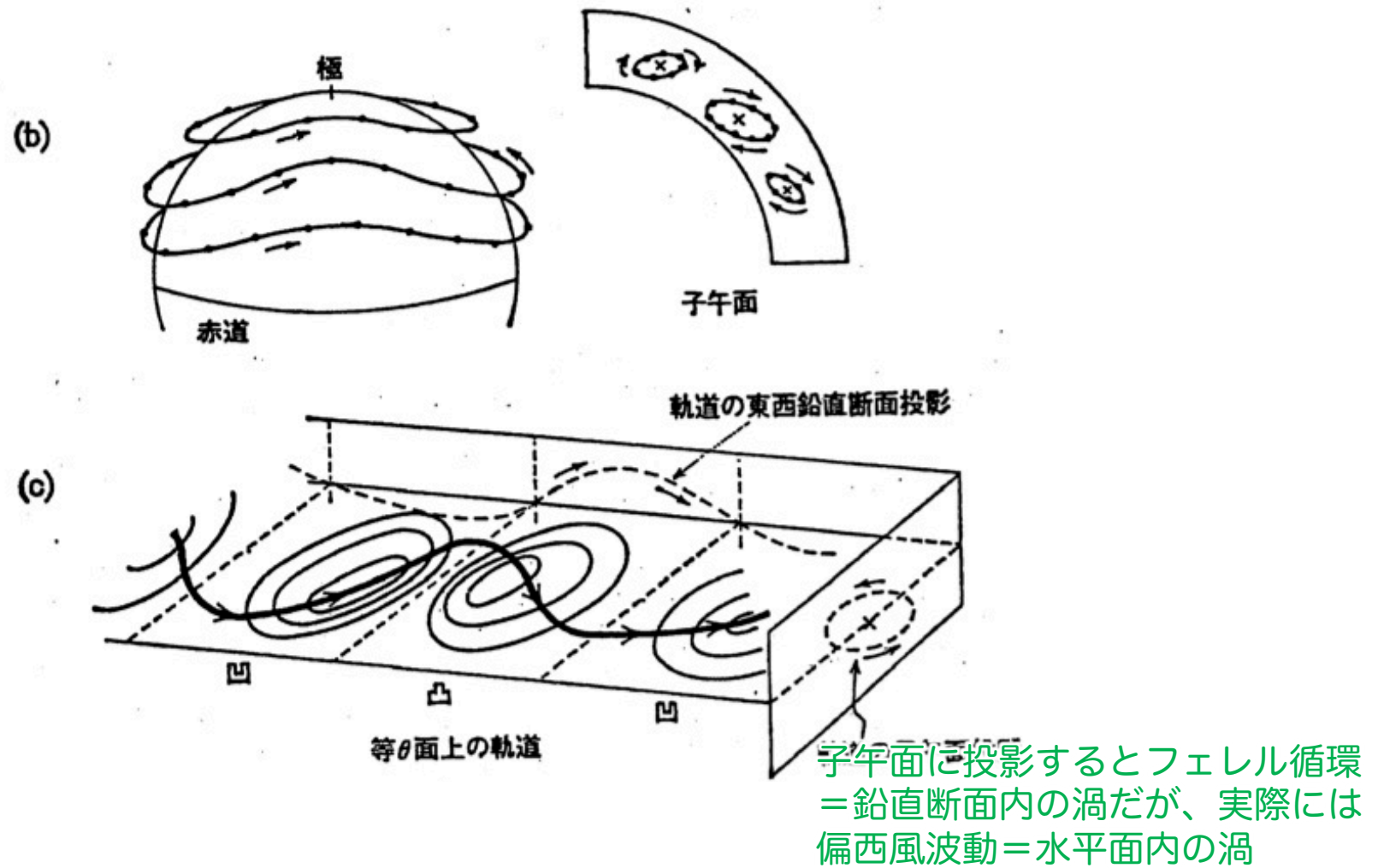


FIG. 7. The required total heat transport from the TOA radiation RT is compared with the derived estimate of the adjusted ocean heat transport OT (dashed) and implied atmospheric transport AT from NCEP reanalyses (PW).

地球の熱バランスと大気循環の役割
Earth's heat balance and role of the circulation

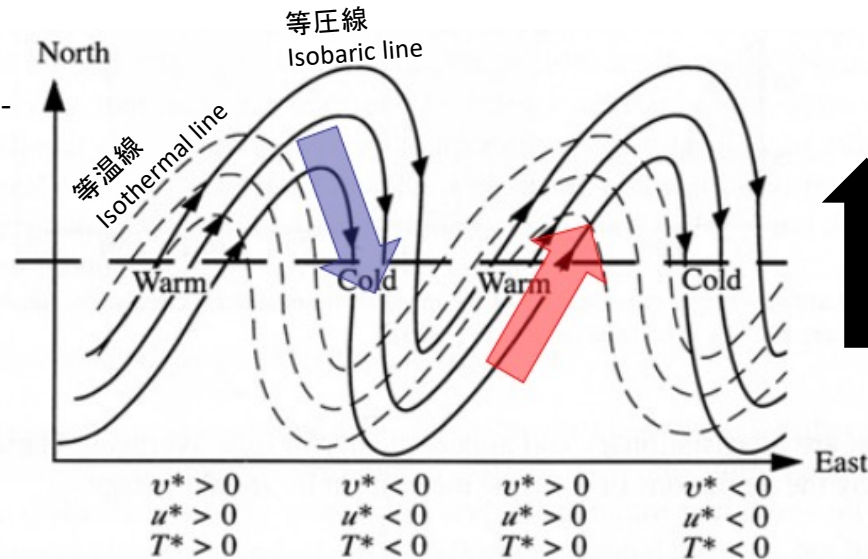


フェレル循環の正体＝偏西風波動



擾乱による極向き熱輸送とは

(傾圧性) 擾乱による熱輸送
Heat transport by (Synoptic wave-like) disturbance



正味の熱輸送、極向き
Net heat transport is poleward

$$v^* T^* > 0$$

渦熱輸送、渦熱フラックス (eddy heat flux)

$$v = v^* + \bar{v}$$

$$T = T^* + \bar{T}$$

東西平均からの偏位 (eddy)

Fig. 6.6 Schematic of the streamlines (solid) and isotherms (dashed) associated with a large-scale atmospheric disturbance in midlatitudes of the Northern Hemisphere. Arrows along the streamline contour indicate the direction of wind velocity. The streamlines correspond approximately to lines of constant pressure, since the winds are nearly geostrophic. The signs of the deviations of the wind components from their zonal-average values are shown to illustrate that the NE-SW tilt of the streamlines indicates a northward zonal momentum transport, and the westward phase shift of the temperature wave relative to the pressure wave gives a northward heat transport.

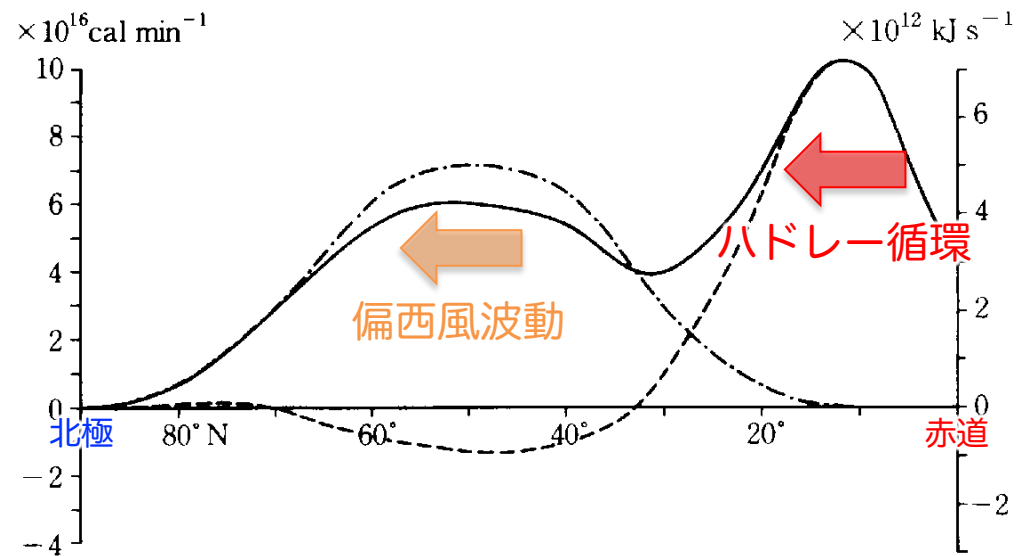
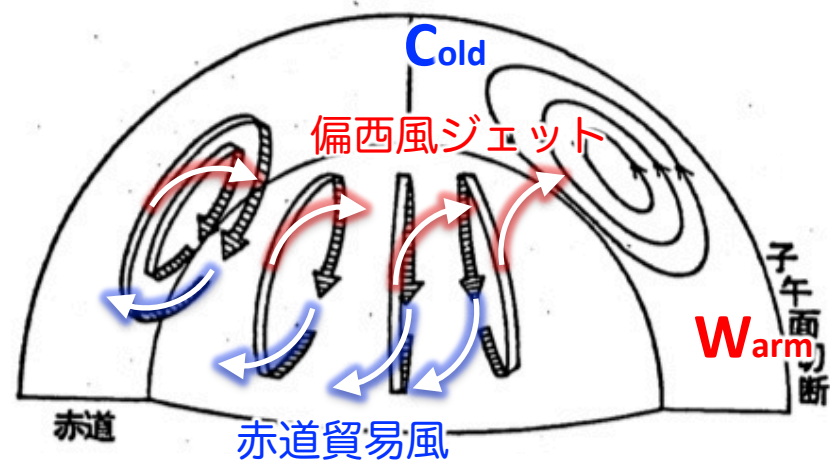


図 8.4 冬期(12月～2月)大気中における極向き熱輸送量(Palmén and Newton, 1969).
破線がハドレー循環による輸送量, 点破線が擾乱による輸送量,
実線はこの両者の和で全輸送量を表わす.

中(高)緯度では水平面内の渦のほうが効率よく熱を極へ運べる。



出典：木田秀次（1983）

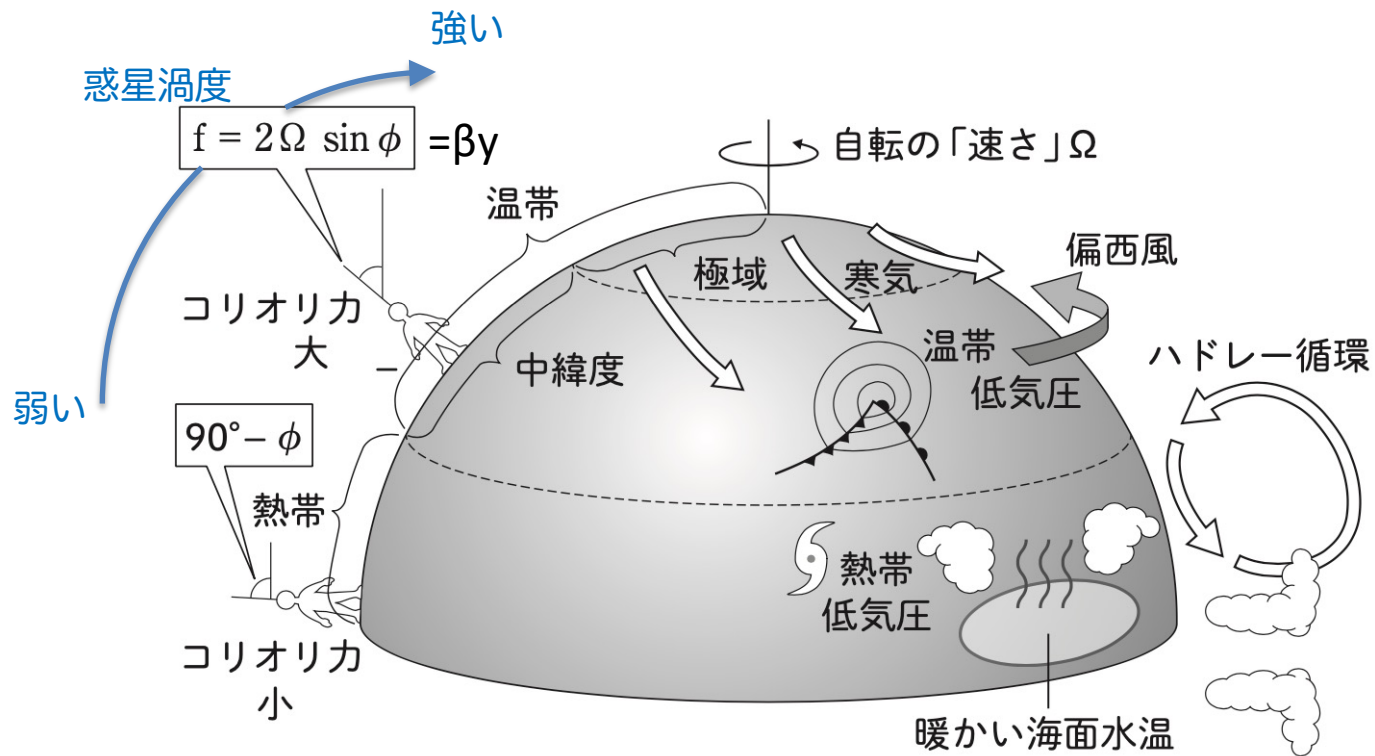
ハドレー循環（直接循環）モデル

地球大気の性質①

コリオリ力により直接循環は維持できない＝偏西風が卓越

β (ベータ) 効果

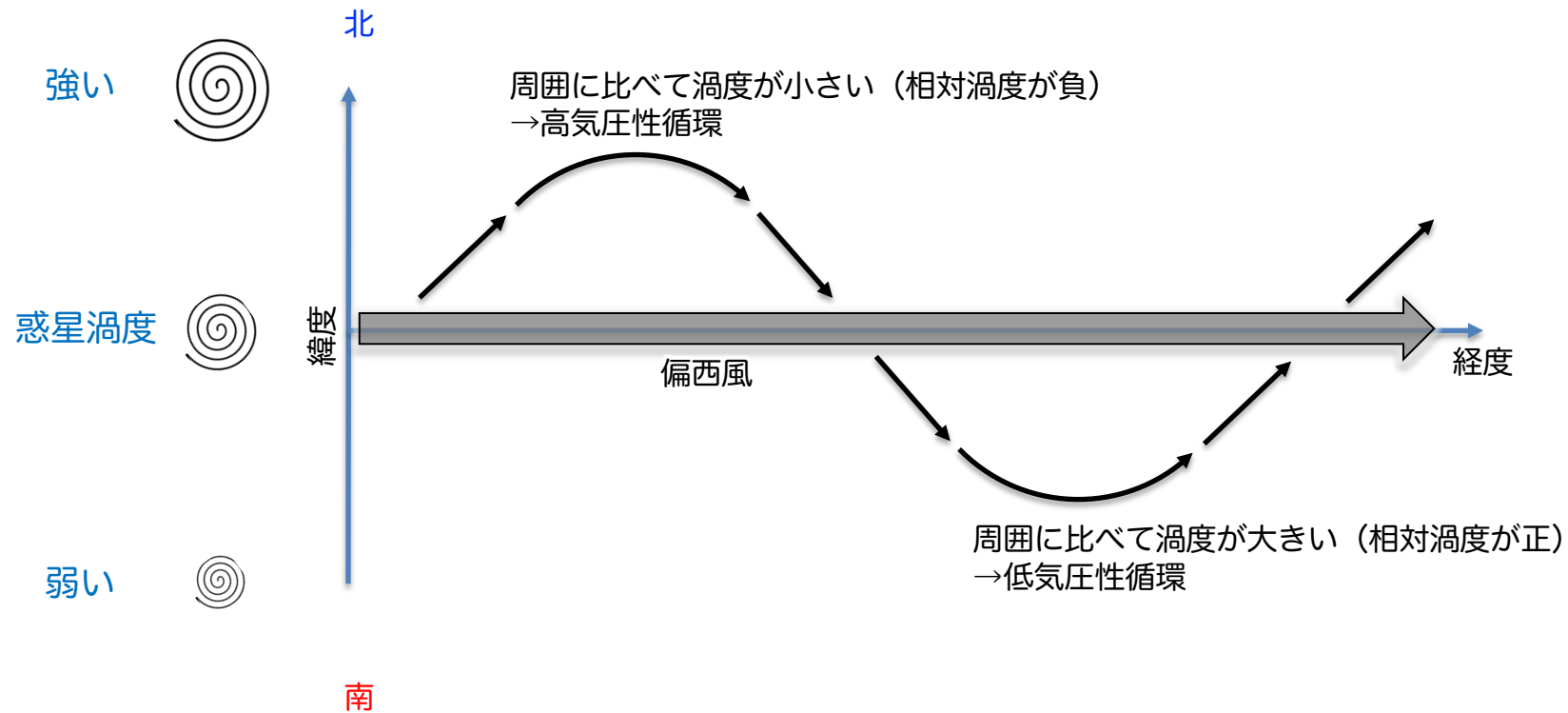
地球が球体であることに起因する、コリオリ力が緯度によって違う効果。



出典：ニュース・天気予報がよくわかる気象キーワード辞典（ベレ出版）

β (ベータ) 効果

地球が球体であることに起因する、コリオリ力が緯度によって違う効果。

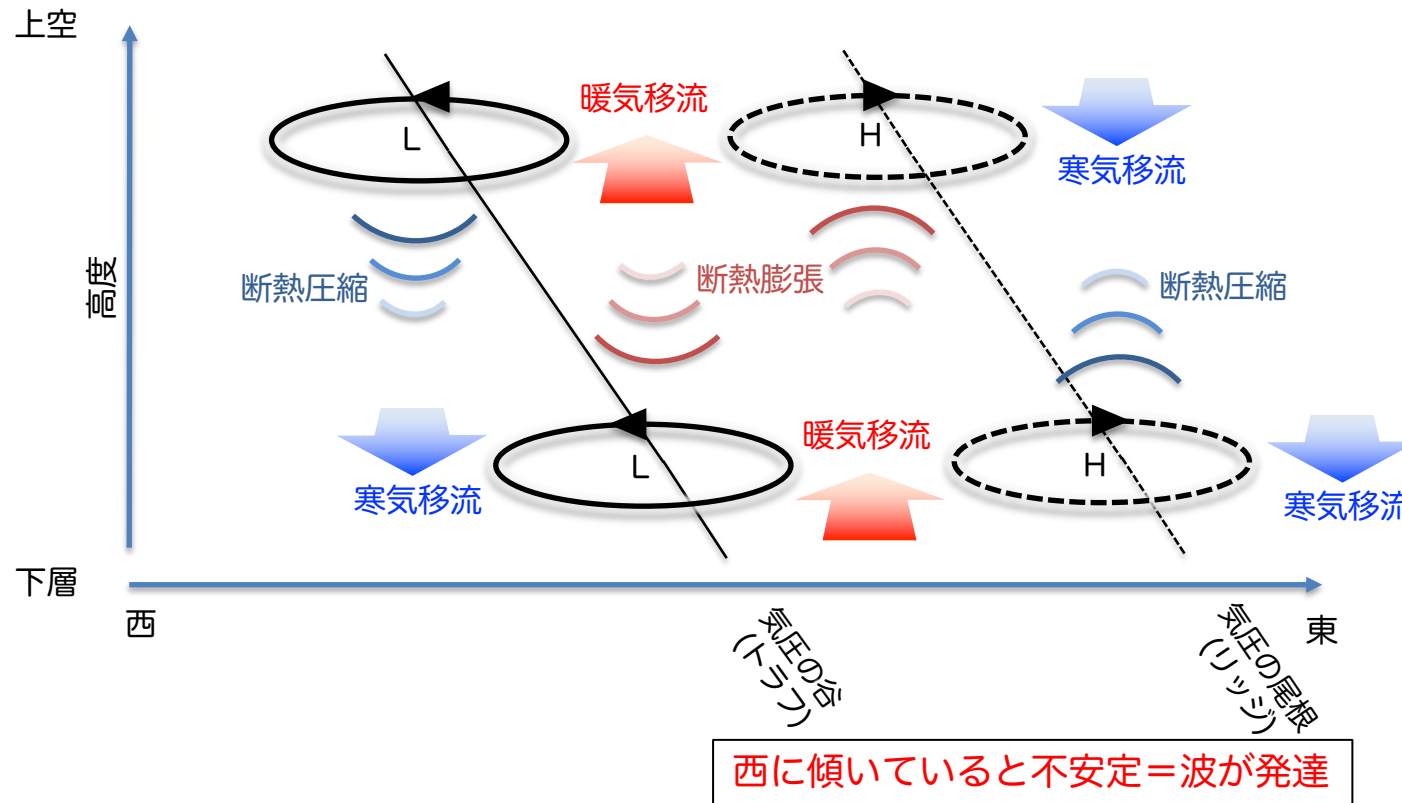


地球大気の性質②

偏西風は (少しの偏位があれば) 波打ってしまう = 偏西風波動

このようなベータ効果を復元力とする波動のことを、「ロスビー波」という。

南が暖かく、北が寒い（＝南北温度勾配）と、偏西風波動はどうなるか？



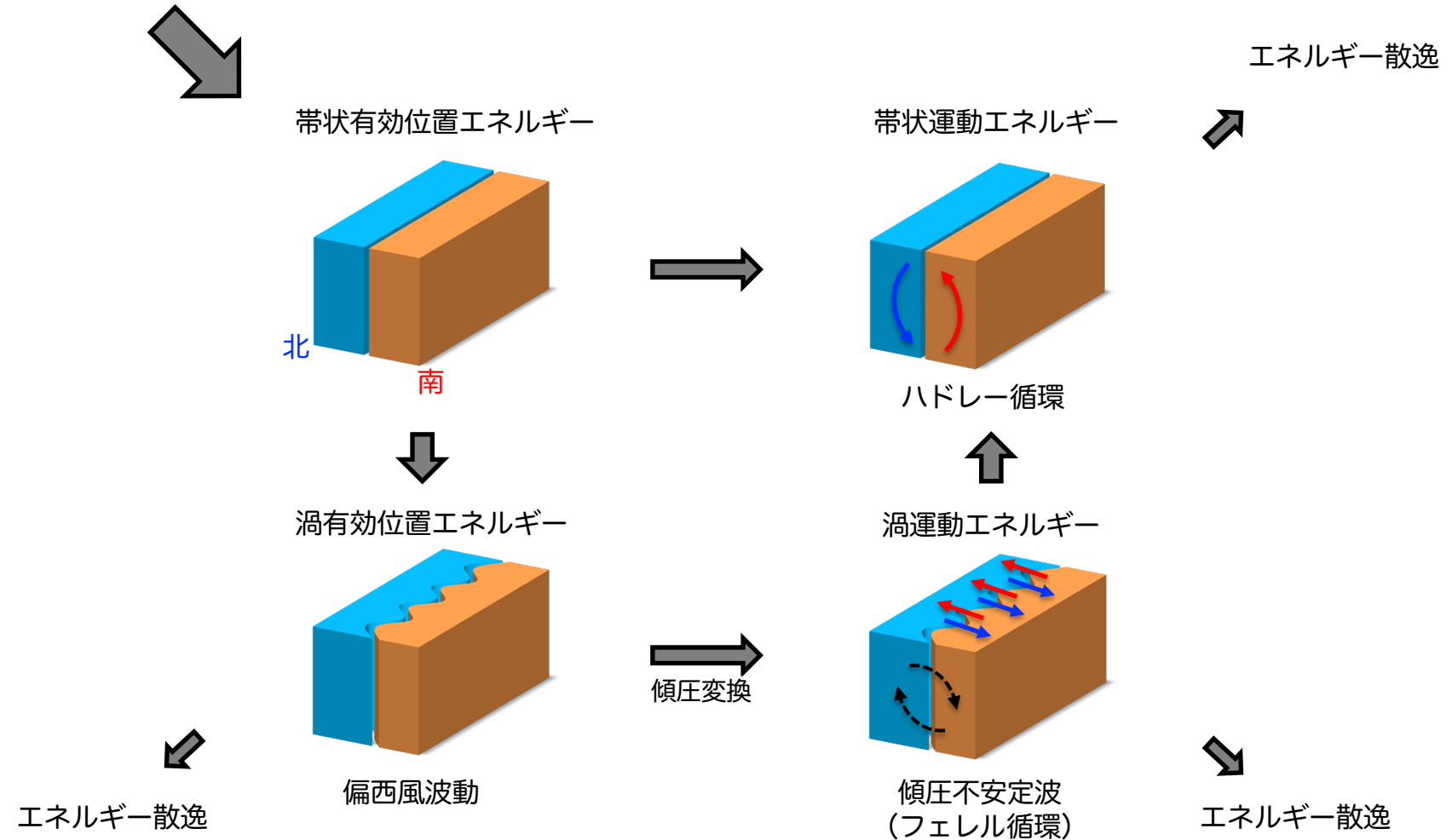
地球大気の性質③

南北温度勾配により偏西風波動が増幅する＝不安定

南北温度勾配（傾圧性）により増幅する波のことを「傾圧不安定波」という。
総観規模（天気図）で見られる移動性高・低気圧に対応。

太陽放射の南北不均一

傾圧不安定波動のエネルギー論



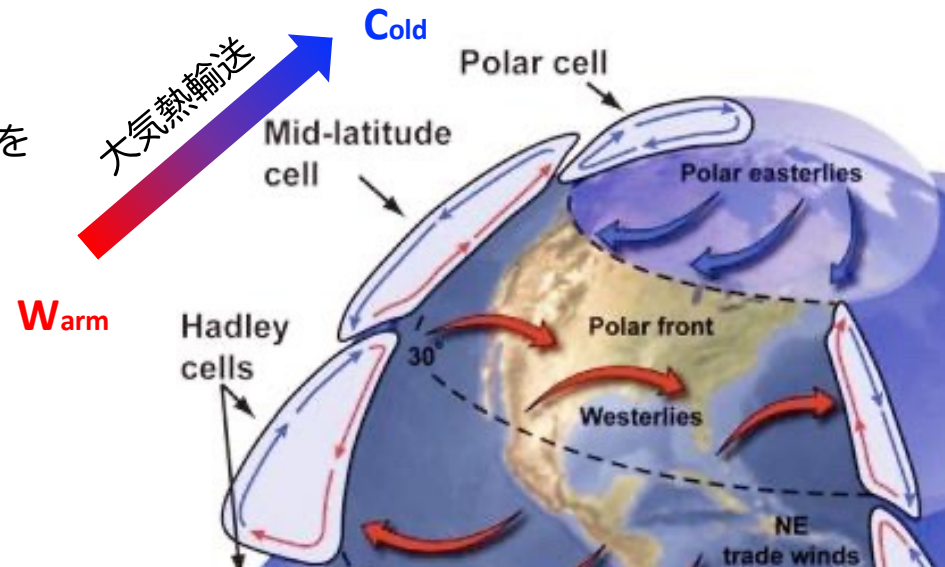
このような模式図は「ローレンツのエネルギーサイクル」や「ローレンツの4ボックスモデル」と呼ばれる。

地球の熱バランスと大気循環の役割 Earth's heat balance and role of the circulation

地球大気の性質

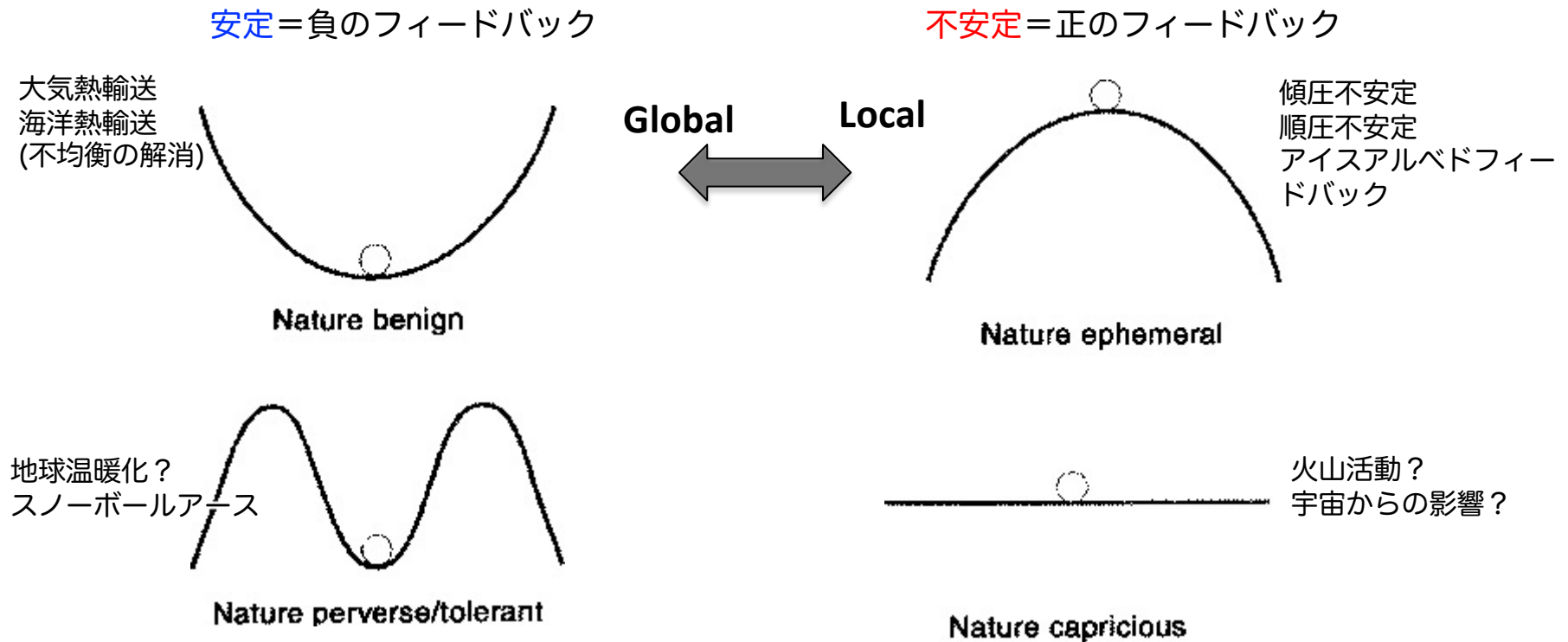
- ①コリオリ力により直接循環は維持できない＝偏西風が卓越
- ②偏西風は（少しの偏位があれば）波打ってしまう＝偏西風波動
- ③南北温度勾配により偏西風波動が増幅する＝不安定

赤道と極の熱（エネルギー）の不均衡を
最も効率良い方法で
解消している。



講義で触れなかった部分

- ・不安定波が発達するスケール（3000~5000km）「Eady問題」
- ・鉛直シアの存在「温度風平衡」



自然に対する先入観の4類型

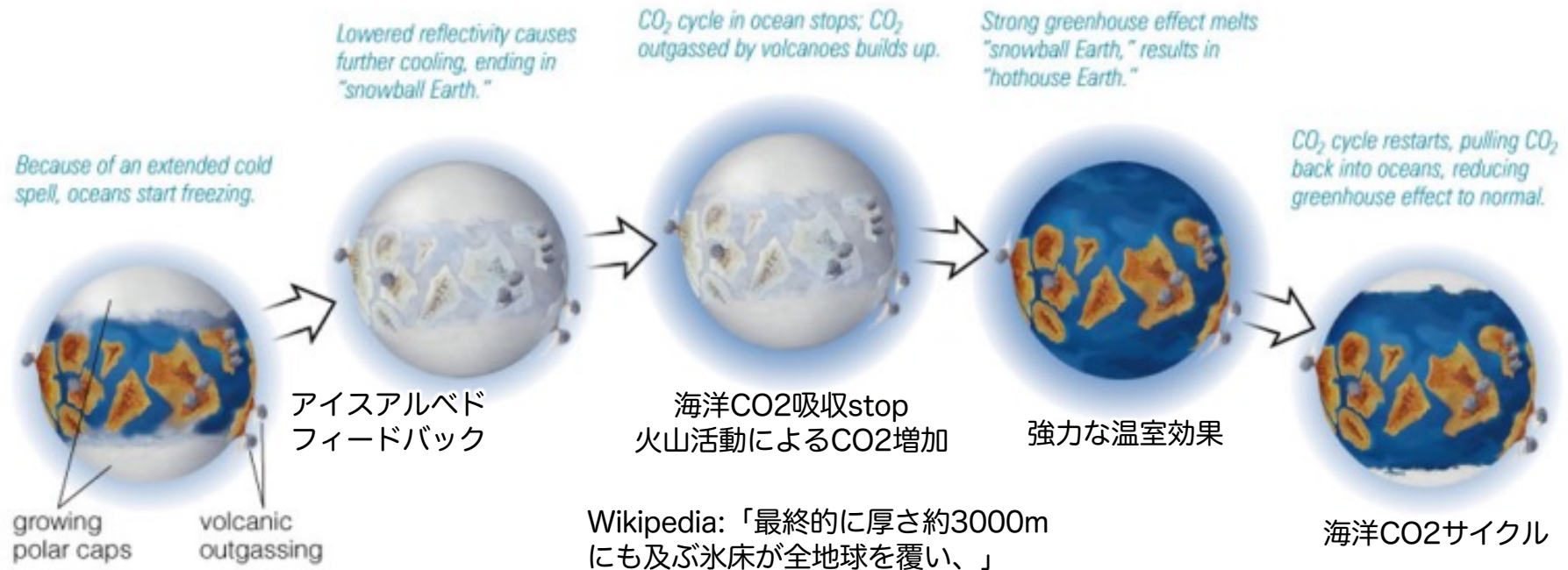
自然は丈夫(上)、自然は恵み深く意地悪(下) 自然はもろい(上)、自然は気まぐれ(下)

「自然に対する先入観の4類型」の気候への適用は、[Maslin \(2004\)](#), 図8。用語の日本語訳は [Marten \(2001\)](#) の日本語版第9章による。

出典：増田耕一氏HP

Snowball Earth (全球凍結)

Five Stages of “Snowball” Earth



出典：FrostPunk

「加速」する北極温暖化



NHKスペシャル「巨大災害 MEGA DISASTER II 日本に迫る脅威 第1集 極端化する気象 ～海と大気の大変動～」より

正のフィードバック

現在の北極でも起こっている？

キーワード

- 北極温暖化増幅
- アイスアルベドフィードバック
- 成層圏循環
- 北極振動