

ハドレー循環とフェレル循環と温帯低気圧の関係

ハドレー循環による鉛直対流は、その混合作用により亜熱帯まで熱を運ぶので、その混合範囲内では温度が一様化されるが、その北側の中緯度では南北の温度傾度が大きくなり、傾圧性が集積される。するとこの南北の温度傾度をかき消すように、高気圧や低気圧といった傾斜対流とよばれるやや南北に傾いた水平渦が発達し、熱をさらに高緯度に運ぶ。これが中緯度の温帯低気圧の役割である。

赤道付近の熱対流としてのハドレー循環と、中緯度の傾斜対流としての温帯低気圧の3次元的な概念図を図1に示した。ハドレー循環は、加熱されて上昇した空気が亜熱帯で下降する東西に一樣な（これを軸対称という）鉛直循環を形成している。それに対し、偏西風に流されて東進する温帯低気圧の渦は、純粹に水平な渦ではなく、微妙に傾斜した構造を示す。低気圧中心の東側では暖気が北上すると同時に上昇するように渦を巻き、逆に低気圧中心の西側では寒気が南下すると同時に下降するように渦を巻いているという特徴が重要である。

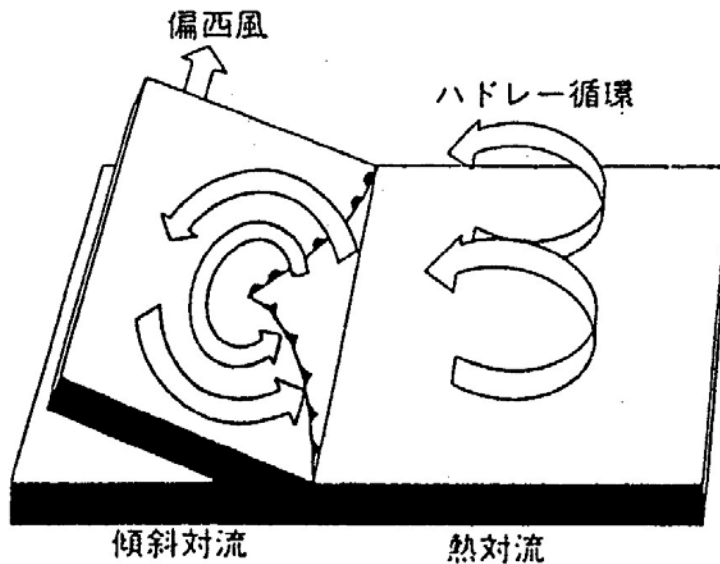


図1 ハドレー循環と温帯低気圧の傾斜対流

このように傾斜した渦が、東西に5から6個の割合で並んで発生し、中緯度の温度勾配をかき消すように南北の空気塊を混合させ、低緯度の熱を高緯度へ輸

送する、これが温帯低気圧の重要な役割である。

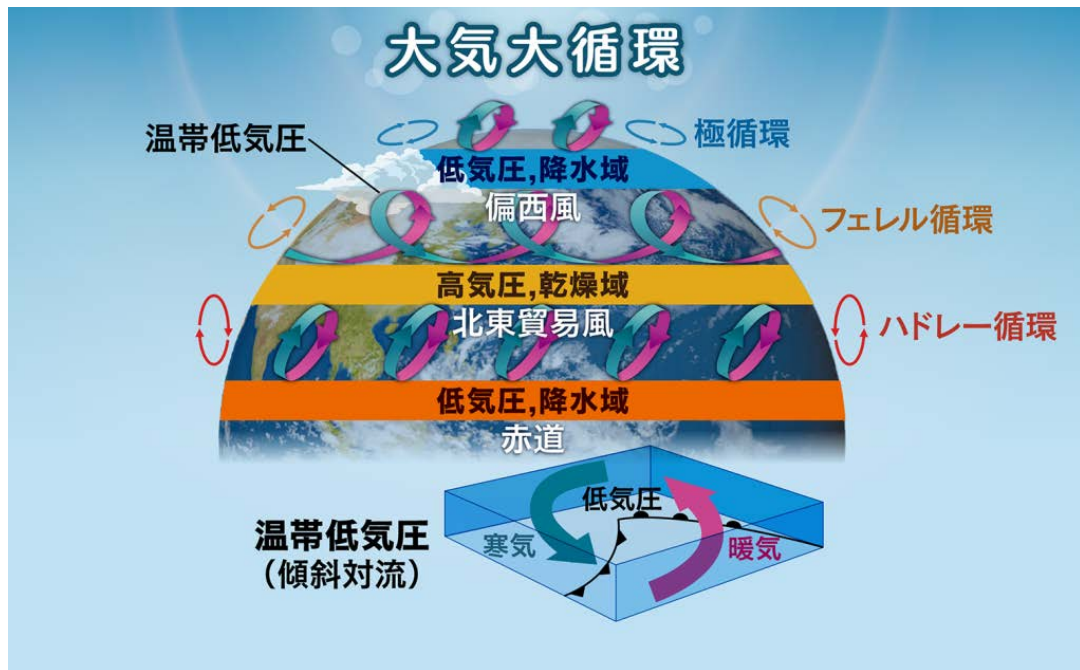


図2 大気大循環の模式図

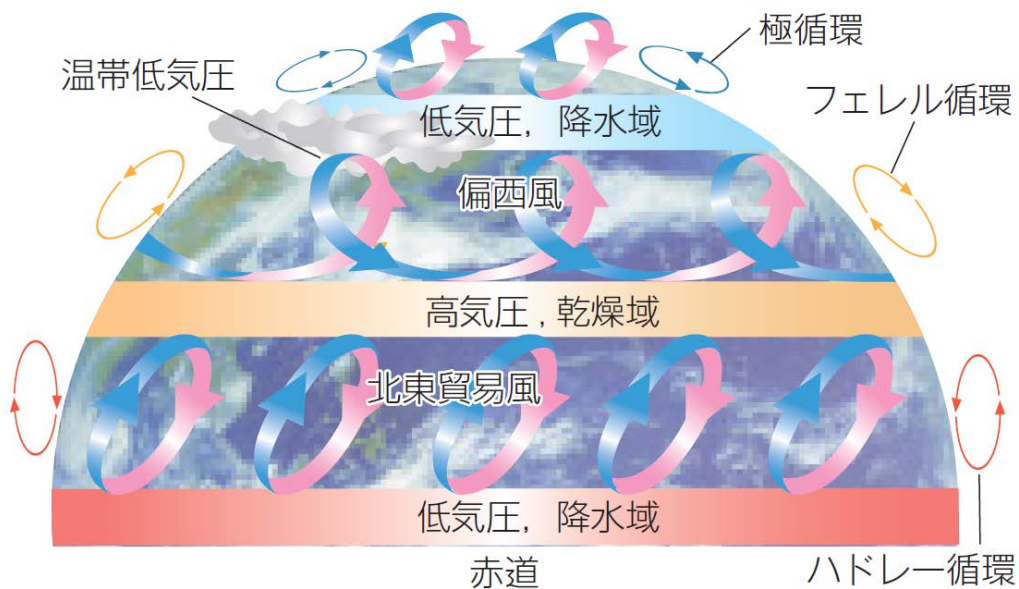


図3 フェレル循環の模式図

図2はハドレー循環とフェレル循環に加えて温帯低気圧の構造を模式的に示

した大気大循環の概念図である。上述の傾斜対流としての温帯低気圧の3次元的な構造を、さらに細かく表現したものを図2の下に示した。図3は教科書から引用した同様の図である（地学基礎 2103 実教図書）。低気圧の東側では南の暖気が北上すると同時に上昇する。亜熱帯気団と寒帯気団の境界面が地上と交わる線が温暖前線である。温暖前線は λ （ラムダ）型またはTボーン構造に見られるように、高緯度側に位置することから、北上する暖気が上昇する地点は高緯度側に存在する。それに対し、低気圧の西側で、南下すると同時に下降する寒気が地上で形成する寒冷前線は、比較的低緯度まで侵入することから、寒気が下降する地点は、高気圧領域も含めてみると、相対的に低緯度に位置する。このような3次元的な温帯低気圧の流れを、偏西風に乗せて概念的に螺旋で表現した結果が図3のフェレル循環である。低緯度のハドレー循環が、下層の貿易風に影響されながドーナツ状に鉛直対流している。それに対し、中緯度の温帯低気圧の渦の構造は、高緯度側で上昇流、低緯度側で下降流を形成するため、その構造を東西方向で平均してみると、北緯30度付近で下降流、60度付近で上昇流を持つような循環が見えてくる。このように東西で（オイラー）平均したときに見られるハドレー循環とは逆向きの循環を、提唱者である（イギリス）の気象学者フェレルの名を取って、フェレル循環と呼ぶ。

図4は、低気圧周辺から高気圧領域にかけて、仮想的な粒子を多数おいた場合の粒子の動きを、鉛直子午面に投影したもので、黒丸はそれぞれの粒子の最終点を示している。解析結果によると、低緯度から高緯度に北上する粒子は北緯45度付近で急激に上昇し、逆に高緯度から低緯度に南下する粒子は北緯32度付近でゆっくりと下降し、38度を中心にフェレル循環と同様の循環をなしている様子が確認できる。

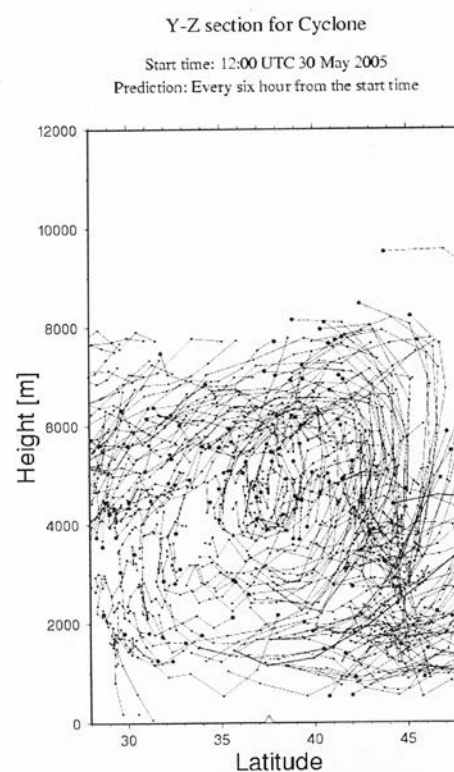


図4 フェレル循環を示す粒子の軌道

ハドレー循環を熱循環的な立場から直接循環と呼ぶのに対し、フェレル循環は間接循環と呼ばれる。図1で説明した傾斜対流説では、温帯低気圧の第1次

近似として、法線が南向きの傾斜した面に沿って循環を記述したが、この図は一部で正しくない。この傾斜した面からの微妙な東向きのずれがフェレル循環として解析され、それが図3では螺旋として表現されている。ここで重要なことは、現実大気においては、フェレル循環でしばしば誤解されるように、比較的温度の高い低緯度で暖気が下降し、比較的温度の低い高緯度で寒気が上昇しているのではない、という点である。フェレル循環は中緯度の温帯低気圧の構造そのものを反映したもので、高緯度で暖気が上昇し、低緯度で寒気が下降するという意味では、熱循環として軽い空気が上昇し冷たい空気が下降するハドレー循環と同様な対流をなしている。

「偏西風の気象学」 田中博(2007)より引用