天気の科学（７）　偏西風の蛇行とブロッキング

山崎　孝治
（北海道大学　名誉教授　Koji Yamazaki）

１．絶対渦度の保存とロスビー波

前回、地球の自転に伴う惑星渦度と水平風に伴う相対渦度について説明した。惑星渦度はコリオリ因子とも呼ばれ、通常 f と表す。地球の回転角速度を Ω とすると緯度 θ での惑星渦度 f は $2\Omega\sin\theta$ となる。惑星渦度 f は緯度の単調増加関数であり、赤道でゼロ、北極で最大値 2Ω をとる。

一方、水平風の回転を表す相対渦度 ζ は反時計回りの低気圧性の回転のときに正であり、時計回りの高気圧性の回転のときに負になる。大気中層で風の収束や発散がない状況では惑星渦度 f と相対渦度 ζ の和である絶対渦度は近似的に保存する。保存するということは空気塊が移動しても絶対渦度 $f+\zeta$ は変わらないということである。このことから偏西風の蛇行が以下のように説明できる。

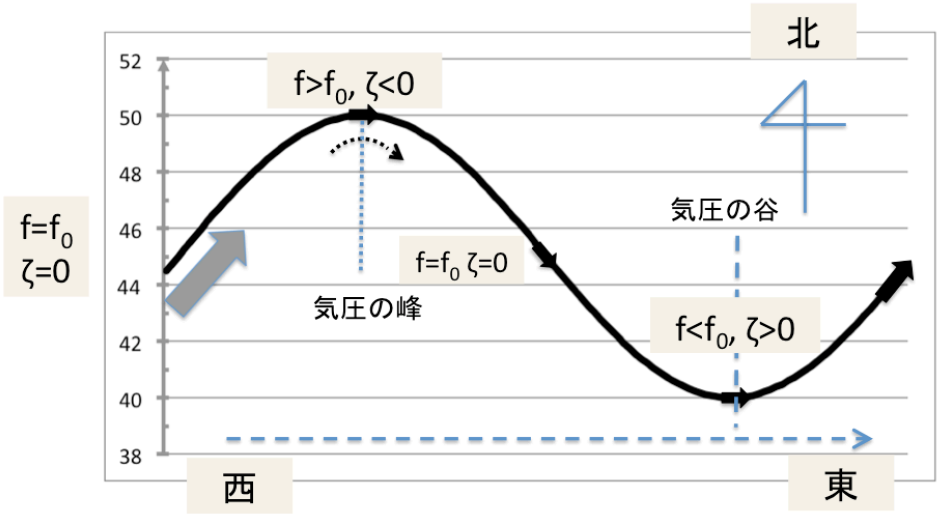

図１　偏西風の蛇行（ロスビー波）

図１のように対流圏中層の 500 hPa において偏西風が吹いている状況を考える。仮に北緯 45° にあった空気塊の速度が北向き成分をもったとしよう（図１の左端の太い矢印）。そこでの惑星渦度を f_0 とする。相対渦度 ζ はゼロである。つまりまっすぐ流れているとする。空気塊が北に移動すると惑星渦度 f が増えるので（$f > f_0$）その分だけ相対渦度 ζ が減る。つまり負の相対渦度（$\zeta < 0$）をもち、高気圧性循環となる。北に行った空気塊は進行方向右向きに向きを変え、元の北緯 45° に戻る。空気塊は行き過ぎて南へ行く。すると f が小さくなるのを相殺して ζ が大きくなる。つまり低気圧性になり（$\zeta > 0$）、再び北を目指す。このよう

に、f の南北変化が復元力となり空気塊の南北変位に対して元に戻すように働く。その結果、偏西風は波打つようになる。このような波をロスビー波という。

図１において、北に空気が移動している所は高気圧性循環であり上空の気圧の峰である。一般に上層の気圧の峰の下には高気圧があり天気がいい。一方、空気が南に移動している所は低気圧性循環で上空の気圧の谷に相当する。その下には一般に地表の低気圧があり天気が悪い。

中緯度では、盛夏期を除けば偏西風が上空に吹いているので、ロスビー波擾乱は西から東に移動する。

２．ロスビー波の東進

図２は 2013 年 3 月 1 日と 2 日の 500 hPa 天気図であり、高度場と風を記してある。３月２日に急速に発達した低気圧が北海道付近を通過し道東を中心に猛吹雪となり９名の犠牲者を出したときの高層天気図である。１日には沿海州に上空 500hPa の低気圧があって気圧の谷が朝鮮半島～西日本へ伸びている。２日には低気圧は東進して北海道の東に達しそこから南に気圧の谷が伸びている。

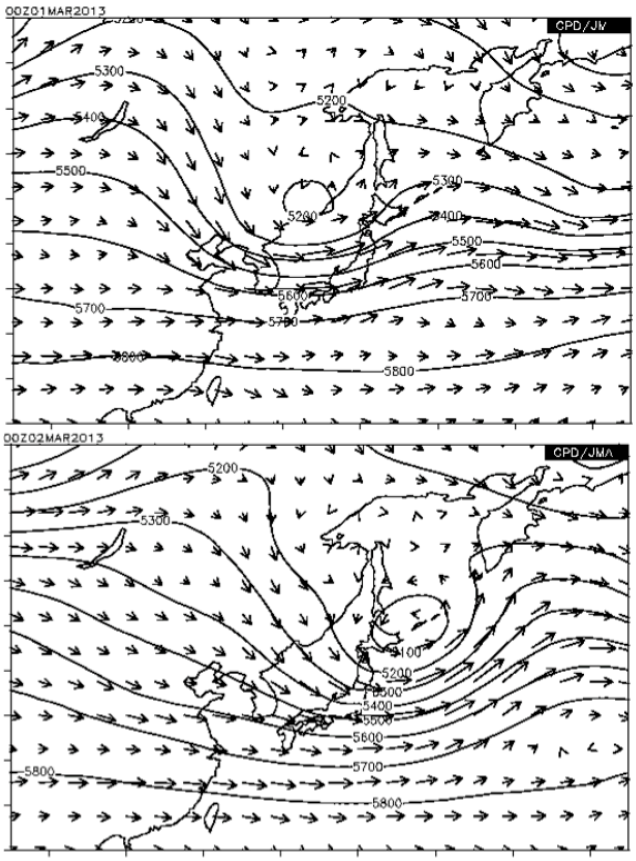

図２　2013 年 3 月 1 日（上）と２日（下）の 500hPa 高度と風（気象庁）

一方、1 日にバイカル湖付近にあった気圧の峰は２日には東進して中国東北地方に達している。このように移動性高低気圧の水平規模のロスビー波（短波ということもある）は平均的な西風に乗って東進する。そのため、盛夏期を除いて天気は西から周期的に変わる。ただし、ロスビー波は平均流にそのまま流されるのではなく、平均流に対して西進する性質がある。次にそれを説明しよう。

３．ロスビー波の西進とプラネタリー波

図３は西風中のロスビー波成分だけを描いた模式図である。図の右側の低気圧性循環（正の相対渦度）の西側では北風が北の大きな惑星渦度を運んでくる。逆に東側では南風が小さな惑星渦度を運ぶ。そのため、ロスビー波の正の渦度の西に正、東に負の渦度が誘起されるので全体として西に進む。この西進速度はロスビー波の東西波長が大きいほど大きい。

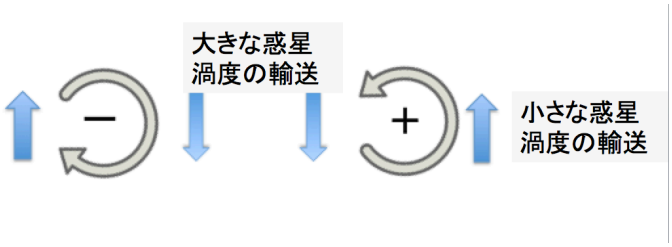

図３　ロスビー波の西進

ロスビー波は海陸の熱的コントラストや大規模な山岳に西風がぶつかることなどで励起される。アジア大陸にはチベット高原やモンゴル高原等、大規模で高い山岳がある。その山岳を迂回するように風は流れやすく、山岳の上空では高気圧性になる。その下流の日本域では低気圧性、すなわち上空の気圧の谷となる。このような山岳によるロスビー波は偏西風によって東に流される効果とロスビー波の西進効果が釣り合うと動かなくなる。このように停滞する波は、冬の強い西風中では水平波長の長いロスビー波となり、惑星波やプラネタリー波と呼ばれる。冬の日本はプラネタリー波の谷付近に位置するので、寒気が南下しやすい。

４．ブロッキングと異常気象

図４は 2012 年１月の前半平均の 500 hPa 高度場である。15 日平均しても大規模な偏西風の蛇行が見られ、日本付近、北米東部およびヨーロッパに気圧の谷がある。東西一周した谷の数は３つであり、波数３パターンといわれる。これがプラネタリー波である。なお、この冬は岩見沢で豪雪が起こり、この期間も大雪が降り続いていた。プラネタリー波の振幅が大きくなると異常気象が起こりやすい。

一方、図５は同年１月後半の 10 日平均の 500hPa 高度場である。カムチャッカ半島の北とアラル海の北に切離された高気圧がある。このように偏西風の蛇行が大きくなって切離された高気圧をブロッキング高気圧という。西からの温帯低気圧の東進をブロックするからである。ブロッキング高気圧は偏西風から孤立しているので移動しにくく長期

に停滞する。

ブロッキング高気圧直下では晴れの天気が長続きする。夏にブロッキングが起こると猛暑となる。また、ブロッキング高気圧の西では低気圧の経路がいつもと変わり異常気象になる。北にブロッキング、南に切離された低気圧があると低気圧の持続性が高まり、やはり異常気象になりやすい。偏西風の蛇行のスムースな東進が阻害されるブロッキングは異常気象の要因の一つである。

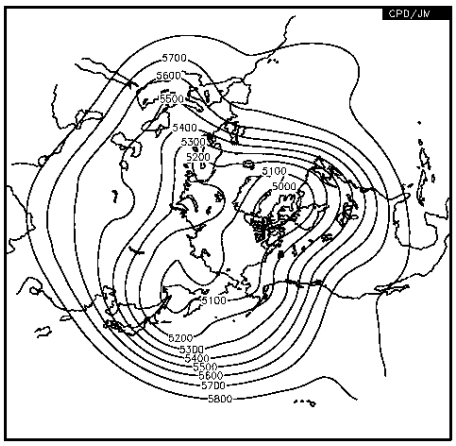

図４　2012 年 1 月 1-15 日平均の北半球 500hPa 高度分布図

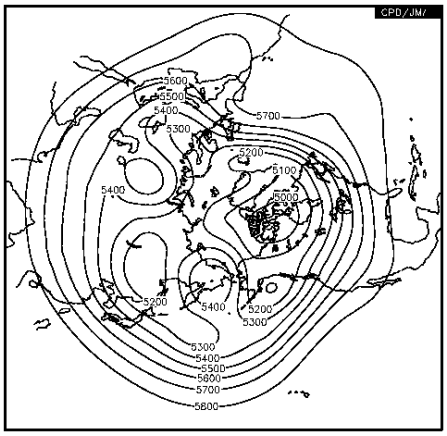

図５　2012 年 1 月 16-25 日平均の北半球 500hPa 高度分布図