

B4.4. テレコネクション

テレコネクション (teleconnection) とは、遠く離れた複数の地域間で、気温や気圧などの気象要素に統計的に有意な相関がみられる現象を指し、遠隔結合、遠隔伝播とも呼ばれている。地理的に固定される傾向が強いので、テレコネクション・パターンの持続は、異常気象や気象災害の原因となりやすい。

オーストラリア北部のダーウィンと南太平洋のタヒチにおける地上気圧の変動は互いに逆位相であることが古くから知られており、それは南方振動 (Southern Oscillation) と呼ばれ、低緯度地域で代表的なテレコネクションである。実は、エルニーニョ現象によって海水温が数度上昇すると、積雲対流活動が活発化し、太平洋東部では気圧が低下、西部では気圧が上昇し、ラニーニャ現象が発生するとその逆の傾向になるという現象を捉えていたことが後になってわかった。そのため、エルニーニョ現象と南方振動は、一つの気象海洋結合現象の海洋側と大気側の変化をそれぞれ見ているに過ぎないという考えから、両者を略して ENSO (エンソ) と呼ぶ場合が多い。

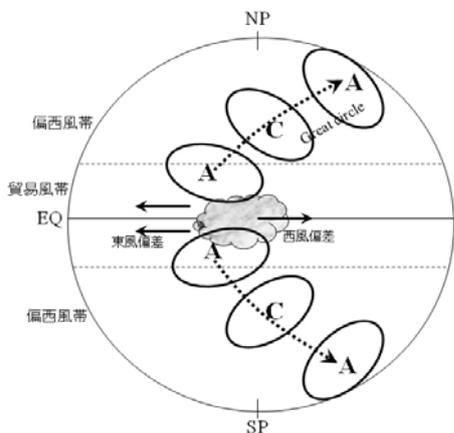


図 B4-4-1 熱帯対流活動が励起源となって、大円コースで伝播する定在ロスビー波列。対流圏上層の大気の応答の様子を示す。図中の“A”, “C”は高気圧、低気圧偏差を示す。

一方、北半球中緯度地域で卓越するテレコネクション・パターンの解釈に、球面上の定在ロスビー波束の伝播という概念が適用されてから、中緯度地域の異常気象や気候変動の研究は大きく進展した (図 B4-4-1 参照)。寒候期に出現する特に有名なテレコネクション・パターンは、太平洋/北アメリカ (PNA) パターンと北大西洋振動 (NAO) である。

PNA はエルニーニョ現象と関連して出現すると、カリフォルニアなどの北アメリカ西岸で暖冬・多雨、北アメリカ南東部のフロリダ半島周辺で寒冬・大雪などの極端な気象をもたらす場合があり、ENSO がロスビー波束の伝播を介して中緯度の天候に大きな影響を与える一つの好例である。また、北大西洋で卓越する NAO はヨーロッパや北アメリカ東岸部の冬季の異常天候の一因となっている。最近では、低緯度地域の ENSO に対比させて、高緯度地域の北極振動 (Arctic Oscillation) が注目されているが、一つの独立した物理現象として解釈すべきか、あるいは、NAO と PNA が重なりあったみかけの振動をみているのか、議論がある。

次に、日本の異常気象や気象災害をもたらすテレコネクションについて解説する。日本は東アジアモンスーン地域に位置しており、東アジア近傍には二種類のジェット気流が存在している。寒帯前線ジェットと亜熱帯ジェット (アジアジェット) である。これらのジェットが導波管として作用すると、ジェットに沿って定在ロスビー波束が効率的に伝播する。上流から導波管を伝って定在ロスビー波束が伝播してくると、冬季および夏季の東アジアモンスーン循環は大きな影響を受ける。つまり、定在ロスビー波の群速度は東向きであるため、二つのジェットの近傍に位置している日本に極端な気象をもたらす要因は、主として西方からやってくると解釈できる。

北半球冬季では、アジアジェットが南下するため、熱帯対流活動の直接的影響を受けやすい。それは ENSO の遠隔影響を受けやすくなる事を意味する。平成 18 年豪雪を例にあげると、12 月の統計から、2005 年は過去 50 年間で最大のモンスーン強度に達しており、寒帯前線ジェットを導波管とする寒帯ルートとアジアジェットを導波管とする亜熱帯ルートのロスビー波列が複合した結果、極端なモンスーンの強化が生じた事が指摘されている。特に、亜熱帯ルートのロスビー波列が顕著であった。豪雪時はラニーニャ的な状態で、フィリピン海・南シナ海付近で活発な熱帯対流活動が生じ、それが熱源となって、亜熱帯ルートのロスビー波列を励起したと考えられる。

夏季においては、寒帯前線ジェットに沿うテレコネクションで、オホーツク海高気圧が異常に発達する場合がある。異常持続によって、ヤマセと呼ばれ

る冷涼な北東気流が北日本の太平洋沿岸地域に流れ込み、1993年のような深刻な冷害を発生させる。アジアジェットに沿うテレコネクションは、シルクロードパターンとも呼ばれ(Enomoto et al. 2003)、小笠原高気圧を強めることで1994年のような猛暑を引き起こす。また、冬季との大きな相違点は、夏季には三つめの導波管が存在することである。アジア大陸の地表面加熱に起因する大陸規模の熱的低気圧の南東縁に沿って形成される梅雨期・盛夏期特有の導波管であり、便宜的に、モンスーン下層ジェットと呼ぶ。その導波管を伝わる Pacific-Japan (PJ) パターン(Nitta 1987)と呼ばれる現象がみられる。これら三種類のテレコネクションは単独あるいは複合して出現し、特に複合した場合、日本は極端な冷夏や猛暑を経験しやすい。

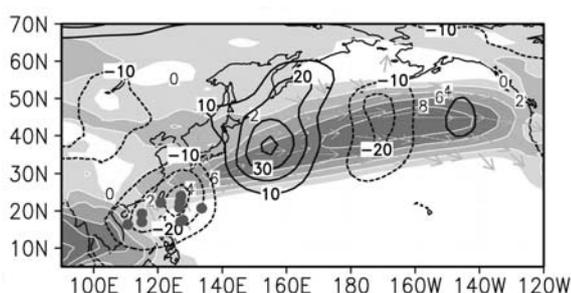


図 B4-4-2 台風が励起する PJ パターンの発達の様子。850hPa 高度偏差は黒の等値線、台風は黒丸で示す。陰影は 850hPa 面の西風風速(気候平均)である(Yamada and Kawamura 2007)。

最後に、総観規模擾乱がテレコネクションを引き起こす事例を紹介する。PJパターンはフィリピン付近の積雲対流活動を励起源とするテレコネクションであり、季節内変動や年々変動スケールにおいてその挙動が調べられてきたが、近年、多量の潜熱解放によって対流圏上層で強い発散場を伴っている台風が定在ロスビー波の励起源となって、PJ的なパターンを形成することが指摘されている(図 B4-4-2 参照)。台風熱源がテレコネクション・パターンを励起することで、日本東方で太平洋高気圧が局所的に強化されると、台風に伴う低圧部との間で東西気圧傾度が増大する。その結果として、低緯度域からの暖湿気流が促進され、太平洋沿岸地域で大雨が生じやすくなる。台風が日本から遠く離れた海域にあっても、台風が南からの水蒸気供給を促すことで、梅雨前線や秋雨前線を活発化させるという説明がよくな

されるが、南からの水蒸気供給という現象に、実は台風が PJ パターンの励起を通して日本東方の高気圧を遠隔的に強化するという重要なプロセスが隠されている。

中緯度の擾乱に目を転じてみよう。急速に発達する温帯低気圧(以下、爆弾低気圧と呼ぶ)は台風匹敵する暴風波浪や大雨・大雪等をもたらす大規模気象・海象災害の発生要因となっており、熱帯起源の台風と中緯度起源の爆弾低気圧は双璧をなす総観規模擾乱である。爆弾低気圧は、台風と同様に対流圏上層で強い発散場を伴っているため、定在ロスビー波の励起源と成り得るポテンシャルを持っている。図 B4-4-3 は日本近海で発達した爆弾低気圧が励起源となり、北太平洋を南東方向に横切るロスビー波列が形成される様子を示したものである。このような波列が卓越すると、中緯度から対流圏上層の高渦位アノマリーがハワイ諸島付近に移流され、下層の低気圧とカップリングすることで、しばしばハワイは冬の嵐(コナストーム)に見舞われる。遠く離れた爆弾低気圧が数日後にハワイに冬の嵐をもたらす現象は、定在ロスビー波束の伝播という確かな物理的背景をもった、テレコネクションの一つの好例である。

【文献】

Enomoto, T. et al.: Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 129, 157-178, 2003.
Nitta, T.: J. Meteor. Soc. Japan, 65, 373-390, 1987.
Yamada, K. and R. Kawamura: SOLA, 3, 65-68, 2007.
Yoshiike, S. and R. Kawamura: J. Geophys. Res., 114, D13110, 2009.

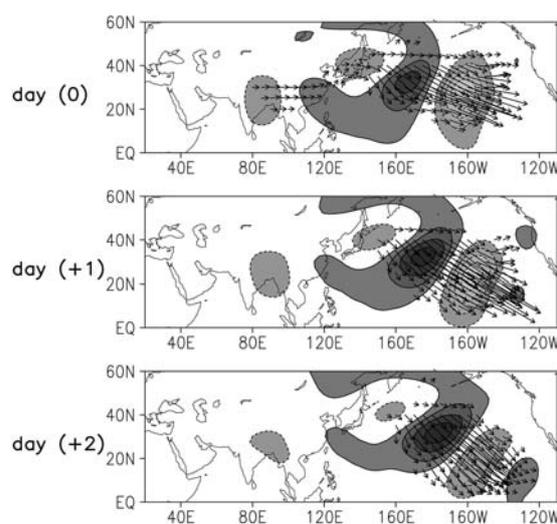


図 B4-4-3 爆弾低気圧が励起するテレコネクションの様子。200hPa 流線関数偏差は陰影、200hPa 波活動度フラックスはベクトルで示す(Yoshiike and Kawamura 2009)。

B4.5. 大気と海洋・陸面の相互作用

大気海洋相互作用や大気陸面相互作用のプロセスは、境界層のスケールからラージスケールまで様々な時空間スケールにまたがっているため、紙面の都合上、すべてを網羅することはできない。ここでは、ラージスケールの現象について紹介する。

1) 大気海洋相互作用

熱帯域におけるラージスケールの大気海洋相互作用の代表的な現象は ENSO 現象である。熱帯太平洋で卓越する ENSO 現象については、別の項で詳しく解説があるので、本項目ではインド洋の大気海洋相互作用について解説する。

熱帯インド洋において太平洋のエルニーニョ現象と類似したメカニズムで生じる大気海洋変動の存在が前世紀末に見出されている (Saji et al. 1999)。この現象はインド洋ダイポールモード (Indian Ocean dipole mode: IOD) と呼ばれており、熱帯インド洋の東部と西部で海水温偏差が逆位相で変動する。このような海水温偏差の東西非対称構造は秋季に最も顕著であり、その後冬季にかけて衰退する。海洋内部でも赤道に沿った水温躍層の深さに東西非対称偏差がみられ、エルニーニョ・ラニーニャ現象と同様に IOD には海洋内部の赤道波が重要な役割を果たしていることが知られている。

一方、IOD とは全く異なる大気海洋変動の存在も報告されている (Kawamura et al. 2001)。風・蒸発・海面水温 (wind-evaporation-SST: WES) フィードバックと呼ばれている現象で、元々は東部熱帯太平洋の熱帯内収束帯 (ITCZ) がなぜ恒常的に北半球側に位置しているのかを説明するための仮説であった (Xie and Philander 1994)。図 B4-5-1 を用いて簡潔に解説する。冬季から春季にかけて熱帯インド洋上では一部の海域を除き東風が卓越している。例えばラニーニャ現象に伴い、北半球側に位置するフィリピン海・南シナ海で積雲対流活動の活発化が生じると、南北非対称の赤道ロスビー波が励起される。北半球側で西風偏差が西方へ拡大すると、東風が弱体化し弱風域が広がる。海面からの蒸発が抑制され海水温は上昇し、高海水温域では対流が活発化する。赤道を挟んで局所的に南北鉛直循環が強まることで、南半球側では東風偏差が卓越し、東風を更に強める。その結果、蒸発量が増加して海水温は低下する。蒸発量の赤道非対称が海水温偏差の赤道非対

称構造を主に作り出していることに注目して欲しい。大気海洋相互作用によって海水温偏差の赤道非対称構造がさらに西へ拡大し、熱帯インド洋全域に広がる。WES が励起される必要条件是基本場が東風でなければならないので、夏季インドモンスーンが開始すると風向の反転が生じるため、WES は消滅する。

このように、熱帯インド洋では少なくとも二種類の大気海洋結合現象 (IOD と WES) が存在する。IOD は東西非対称の構造をもち、北半球夏季から秋季にかけて卓越し、海洋内部の力学が重要である。対照的に、WES は赤道非対称の構造をもち、北半球冬季から春季に卓越し、海面熱収支が重要である。互いに全く対照的な現象であるが、両者共に ENSO 現象との従属性、独立性に関して議論がある。

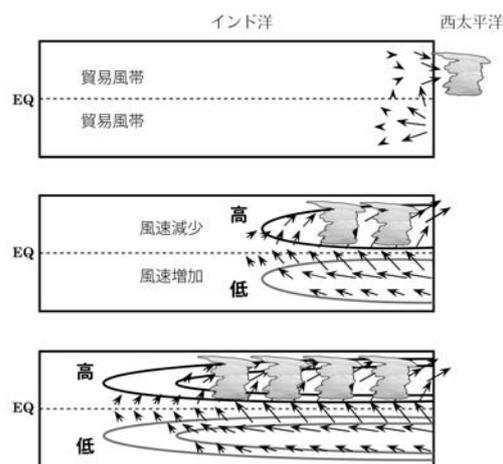


図 B4-5-1 風-蒸発-海面水温(WES)フィードバックによって発達するインド洋の大気海洋相互作用の模式図。図中の“高,” “低”は海面水温偏差を示す。(Xie (1996)を参考にして作成) 川村(2008)より引用。

2) 大気陸面相互作用

地表面が植生で覆われているのか、積雪に覆われているのか、あるいは裸地になっているのかによって、地表面熱収支は大きく異なるため、大気への影響の与え方も複雑である。雪面は裸地や植生に覆われた地表面よりも太陽光を反射するので、放射収支に影響を与える。このような効果をアルベド効果と呼んでいる。アルベドは反射された放射量と入射放射量との比を表わし、積雪も新雪ではアルベドは 0.9 程度であるが、汚れた雪になると 0.6 以下に低下する。大陸上の積雪が大気に及ぼす影響はアルベ

ド効果など様々な効果があるが、特に、融雪期に融雪水が土壤水分を増加させ、春季から夏季にかけての地表面加熱を抑制する効果が指摘されている。抑制効果はアジア大陸とインド洋間の温度傾度の反転を遅らせ、結果的にインドモンスーンの弱化をもたらす可能性が古くから云われてきた。最近の陸面モデルの研究では、地表面からの蒸発と流出により通常は1ヵ月程度で減衰する土壤水分偏差が、大気フィードバックを考慮すると、3ヵ月程度に偏差が持続可能であることが明らかになっている。このようなフィードバックが有効に働くとすれば、融雪後3ヵ月間は大気に影響を与え続ける可能性が考えられる。しかしながら、チベット高原を含むユーラシアの積雪が多ければ、その後の夏季インドモンスーンが弱くなるという仮説は未だ検証されていない。

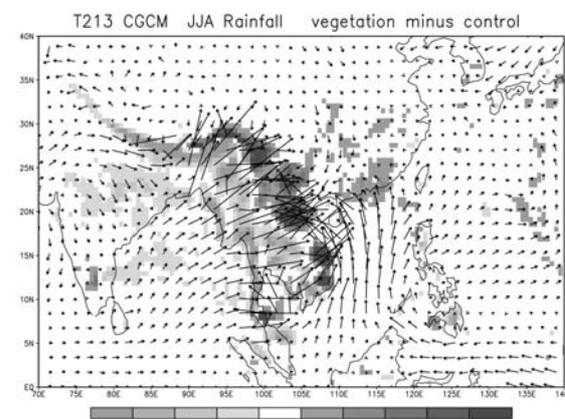
では、積雪のない低緯度の地域はどうだろうか。植生の有無や種類(草地や森林)によって、地表面と大気との間の熱・水蒸気交換が大きく変わり得る。たとえば、サヘルのような半乾燥地域で家畜の過放牧や森林の伐採で植生が破壊されると、地表面熱収支は大きく変わる。森林はアルベドが0.05~0.20程度であるが、草地は0.15~0.25、砂漠に至っては0.20~0.45程度まで増加する。つまり、植生が破壊され裸地に近い状態になると、アルベドが増加し、正味の放射収支が変化する。また、植生が破壊されると、植生によって維持されていた土壤の侵食が進むことで、降水があっても土壤水分の増加に寄与せずに表面流出が卓越する。結果的に、土壤水分の減少は蒸発散の抑制をもたらす、地表面から大気へ輸送される潜熱フラックスが減少する。アルベドの増加は地表面温度を低下させる方向に働くが、逆に潜熱フラックスの減少は地表面温度を上昇させる方向に働く。互いに相反する作用であるが、半乾燥地域では元々蒸発散量は少ないため、相対的にアルベドの増加の影響が大きい。つまり、正味では地表面温度は低下する。一旦、人為的な植生破壊が生じると、裸地と周囲の森林との間で温度差が生じることで、裸地上空で下降、森林上空で上昇する熱的局地循環が形成される。このような局地循環は裸地での降水量減少をもたらすため、正のフィードバックの卓越によって更なる乾燥化が進行する恐れがある。

次に、半乾燥地域の対極にある湿潤モンスーン地域について考えてみよう。モンスーン地域の森林伐

採による影響評価を想定して、例として、インドシナ半島の植生(樹林)を全て農耕地(麦畑)にした場合、どのように夏季の降水量やモンスーン循環が変化するのだろうか。図B4-5-2に大循環モデルを用いたインドシナ半島の植生改変実験の結果を示す。現在植生実験と植生改変実験の結果を比較することで、植生改変の影響を評価できる。図には示していないが、麦畑に植生を改変したインドシナ半島の地上気温は夏季では高温化がもたらされている。また、大気下層では乾燥化が生じていた。高温化と乾燥化の要因は主として潜熱フラックスの減少によるものであり、アルベド増加による影響は相対的に小さいことがわかっている。図では、インドシナ半島の東部で降水量増加、西部で減少する東西非対称の分布がみられる。地表面気温の高温化に伴い地表面気圧も低下し、ベンガル湾からインドシナ半島にかけてモンスーン西風が強まる一方、南シナ海上では海陸間で東西気圧傾度が大きくなり南風成分が強化される。両者による下層の水蒸気収束が半島東部で生じている。半島西部では森林伐採によって地表面粗度が減少することで、ベンガル湾からの水蒸気が流入しても半島西部では水蒸気収束が抑制され、収束しないまま内陸部へ水蒸気が侵入しやすくなる。これらの複合効果が降水量分布の東西非対称の要因であると考えられる。

【文献】

- Kawamura, R. et al.: J. Geophys. Res., 106, 4681-4693, 2001.
川村隆一: 天気, 54, 199-202, 2007.
川村隆一: 地学雑誌, 117, 1063-1076, 2008.
Saji, N.H. et al.: Nature, 401, 360-363, 1999.
Xie, S.-P. and S.G.H. Philander: Tellus, 46A, 340-350, 1994.
Xie, S.-P.: J. Atmos. Sci., 51, 3236-3250, 1996.



図B4-5-2 夏季(JJA)平均の降水量(mm day⁻¹)と地上風分布の気候値の差(植生改変実験と現在植生実験の差)。川村(2007)より引用。