

## 論文内容の要旨

論文題目 東部熱帯太平洋域の浅い対流を伴う大気擾乱に関するデータ解析研究

(A data analysis study on the atmospheric disturbances associated with  
shallow convection over the eastern tropical Pacific)

氏名 横山 千恵

本論文では、東太平洋熱帯収束帯 (ITCZ) 域における降雨システムの特徴を、西太平洋の特徴と定量的に比較しながら調べ、さらにその違いが大規模環境場および総観規模擾乱のいかなる違いに帰着するかをデータ解析から調べ考察した。まず、降雨システムの特徴の解析から、西太平洋暖水域では、孤立した積乱雲と雲クラスターなどの組織化したシステムとに伴う深い雨が卓越するのに対し、東太平洋 ITCZ 域では、雄大積雲に伴う浅い雨と組織化したシステムに伴う深い雨とが共に卓越していることが示された。次に、総観規模擾乱について解析した結果、東太平洋に特徴的な擾乱として、渦と混合ロスビー重力 (MRG) 波的擾乱とを伴う 2 重構造の擾乱が存在することが示された。東太平洋 ITCZ 域で深い雨が降るためには、2 重構造の擾乱と積雲対流とが結びついて良く組織化することが効果的であることが明らかになった。

降雨の解析には、熱帯降雨観測計画 (TRMM) 衛星の降雨レーダー (PR) による PR2A25 ver.6 プロダクトや非断熱加熱データを使用した。また、降雨システム特徴の解析には、PR2A25 の単連結 (隣り合う降雨ピクセルをつなぎ合わせた) データ (“降雨 feature” と呼ぶ) を使用した。さらに、JRA25/JCDAS および ERA-Interim の再解析データや、NOAA 最適内挿海面水温 (SST) v2、SSM/I 可降水量、QuickSCAT 海上風、NOAA 内挿外向き長波放射 (OLR)、Global IR 赤外輝度温度を使用した。

本論文の主な結果は第 3 章と第 4 章に記す。第 5 章では全体のまとめを行う。

第3章では、1998-2007年の北半球秋季(9-11月)における降雨 feature を解析から、東太平洋 ITCZ 域と西太平洋暖水域とにおけるメソスケール降雨システムの特徴を比較し、降雨特性の相違と大規模環境場との関係を調べた。

まず、非断熱加熱の鉛直分布を調べた結果、西太平洋暖水域では高度約 7.5 km にのみ加熱のピークが見られたのに対して、東太平洋 ITCZ 域では高度約 7.5 km のピークに加え高度約 2.5 km でもピークが見られた。そこで、このような非断熱加熱の鉛直分布の相違がいかなる特性を持つ降雨システムで構成されているかを調べるため、降雨 feature を、面積と最高降雨頂高度とによって、4タイプ(雄大積雲システム、孤立した深いシステム、組織化した中程度に深いシステム、組織化した非常に深いシステム)に分類し解析した。なお、組織化したシステムの特徴の1つは  $O(100\text{ km})$  規模の広い層状雲を伴うことであるため、面積の観点から、孤立したシステムと組織化したシステムとの分類を行なった。その結果、西太平洋暖水域では、孤立した深いシステムおよび組織化した非常に深いシステムに伴う雨が卓越するのに対し、東太平洋 ITCZ 域では、主に雄大積雲で構成されると考えられるシステムの他に、組織化した中程度に深いシステムに伴う雨が卓越することが示された。

一方、西太平洋暖水域と東太平洋 ITCZ 域とにおける大規模環境場を比較すると、収束場の深さに顕著な相違が見られた。つまり、西太平洋暖水域では、地表から約 400 hPa までの深い収束場が観察されるのに対し、東太平洋 ITCZ 域では、強い SST 勾配に伴って約 900hPa より下の浅い層に強い境界層収束場が見られるが、その上の自由対流圏下部(850 hPa)は発散場となっている。以上の結果から、西太平洋暖水域の深い収束場では深いシステムに伴う深い雨が卓越し、東太平洋 ITCZ 域の浅い境界層収束場では雄大積雲に伴う浅い雨が卓越することが示され、収束場の深さと降雨の深さとが対応することが確認された。しかしながら、東太平洋 ITCZ 域では、同時に、組織化したシステムに伴う深い雨も卓越することが示されており、この深い雨がいかんして生じているのかについてさらに第4章で議論した。

第4章では、東太平洋 ITCZ 域と西太平洋暖水域とにおける降雨システムの特徴の相違をもたらす原因を探るため、両領域における総観規模擾乱の構造について、スペクトル解析、コンポジット解析およびエネルギー収支解析を用いて比較した。

まず、東太平洋では、可降水量や 850 hPa での鉛直 p-速度 ( $\omega_{850}$ ) に約 3-7 日周期のスペクトルピークが検出され、可降水量の顕著な変動を伴い下層で上昇流の変動が大きい西進擾乱が存在することが示された。また、同時に、OLR や 300 hPa での鉛直 p-速度 ( $\omega_{300}$ ) にも約 3-7 日周期のスペクトルパワーが存在し、東太平洋の擾乱は、深い積雲対流を伴い上層にも上昇流の大きな変動を伴っていることを示していた。これに対し、西太平洋では、OLR や  $\omega_{300}$  の変動は顕著だったが、可降水量や  $\omega_{850}$  など下層の変数のスペクトル

ルピークは見られなかった。

コンポジット解析の結果から、東太平洋の 850 hPa における総観規模擾乱は、約 9°N を中心として南西-北東方向に傾いた渦と、赤道を中心として顕著な南北風を持つ大規模循環とを伴うことが示された。渦は、東西波長約 4000 km、位相速度約 9 m s<sup>-1</sup> で西進し、高度とともにわずかに東に傾いていた。一方、赤道中心の循環は、東西波長約 8000 km、位相速度約 20 m s<sup>-1</sup> で西進し、高度とともに大きく東に傾いていた。また、赤道中心の循環に伴う波束は、群速度約 5 m s<sup>-1</sup> で東進伝播していた。これらの特徴から、赤道中心の循環は MRG 波的擾乱と同定された。以上から、東太平洋には、渦と MRG 波的擾乱とを伴う“2重構造”の擾乱が比較的頻繁に存在することが示された。東太平洋の擾乱は、同時に、7.5°N 付近において、対流圏上層と中下層とに発散を示し、上層と下層とに上昇流のピークを示す“2階建て構造”を持っていた。これに対し、西太平洋の擾乱は、深い下層収束と上層の発散とを伴い、上層にのみ上昇流のピークを持つ深い構造を持っていた。

次に、擾乱の運動エネルギー収支の観点から、西太平洋と東太平洋との相違が示された。両領域の共通点として、250 hPa において、深い積雲対流による擾乱の有効位置エネルギーから運動エネルギーへの変換が、擾乱のエネルギー生成に最も寄与していた。しかしながら、東太平洋では、850 hPa において、雄大積雲によると考えられる擾乱の有効位置エネルギーから運動エネルギーへの変換が存在し、擾乱の下部のエネルギーを生成していた。さらに、東太平洋の浅い境界層収束場は、順圧変換項を通して、925 hPa での擾乱の運動エネルギーを増幅していることが示された。

東太平洋における 2重構造の擾乱の持つ役割について考察するため、擾乱に伴う非断熱加熱分布を調べた。その結果、対流圏下層にピークを持つ浅い加熱は、渦の全域で存在するのに対し、上層にピークを持つ深い加熱は、MRG 波的擾乱に伴う赤道越えの南風が流入する渦の北東域において大きいことが分かった。この南風の流入は渦の東側ほど厚く、それに伴って収束も深まっていた。以上の結果を総合的に考察すると、東太平洋での深い降雨システムを維持する仕組みとして、2重構造の擾乱に伴って深い収束が作り出されることが効果的に働いていると考えられる。

一方、春季（3-5月）には、東太平洋における SST 勾配は秋季に比べて弱くなり、中西部太平洋にも弱い SST 勾配が存在する。それに伴って、浅い境界層収束場は、秋季より弱くより西方まで広く分布している。そのような環境場のもとでは、雄大積雲および組織化した中程度に深いシステムに伴う雨もまた、より弱くより西方まで分布していた。また、春季においても 2重構造を持つ擾乱が示されたが、渦と MRG 波的擾乱はともに弱く、特に渦は非常に弱かった。春季には、浅い境界層収束場が弱いため、境界層収束場による擾乱の下部の運動エネルギー生成が小さく、2重構造を構成する渦が弱くなると示唆される。

第 5 章では、秋季の東太平洋 ITCZ 域で卓越したメソスケール降雨特性、総観規模擾乱および大規模環境場の関係を考察し、次のようにまとめられた。東太平洋 ITCZ 域では、やや低い SST や浅い収束場から、平均的に深い雨は西太平洋暖水域より生じにくい場であった。しかしながら、2 重構造の MRG 波的擾乱に伴う赤道越えの南風が渦へ流入し、部分的に深い収束が作り出されることによって、深い雨が生じていると考えられた。これに対し、西太平洋暖水域では、高い SST とともに深い収束場が存在しており、このような総観規模の 2 重構造にならなくとも、深い総観規模擾乱と直接結びついて深い雨が比較的生じやすい場になっていると考えられた。また、2 重構造が顕著でない春季においては、東太平洋 ITCZ 域上の擾乱が深い積雲対流の西進伝播を伴っていなかったことは、擾乱の 2 重構造が深い積雲対流を維持するのに重要であるという考察を支持していた。