

# 熱帯収束帯 (ITCZ) に関する気候学的研究\*

吉 村 稔\*\*

## 要 旨

ITCZ の位置の年変化を見るため、IGY 期間中の赤道天気図を使用して、日々の天気図上の ITC の出現頻度分布図を月単位で作成した。その結果、北半球の冬には ITCZ が南半球にあるとされていた南米では、年間を通じて ITCZ は北半球にあり、アフリカでは冬季に出現するとされていた SITCZ が存在しなかった。またインド洋上では、春・秋の位置の移行期間に赤道をはさみ 2 本の ITCZ が存在するなど従来の研究結果と異なる結果を得た。また ITCZ の位置の年変化を特定経線に沿って旬単位で調べると、移動は連続的でなく段階的であることが認められた。さらに赤道偏西風と ITCZ の関係について若干の作業を行ない、赤道偏西風の南北の限界が必ずしも ITCZ の位置には相当しない場合のあることを示した。

## 1. ま え が き

従来、ITCZ の位置の決定は気候学的な意味から、その位置を風の気候値の解析により決定する場合 (Alpert, L., 1945, Thompson, B. W., 1951, Watts, I.E.M., 1955, Flohn, H. 1965, 吉野, 1968, Godshall, F.A., 1968) と平均気圧図の解析 (Alissow 等, 1954, Weikmann, L., 1963, '64.) から決定する場合があった。これらのような解析の方法によっては、ITCZ の構造あるいは、その移動範囲などの点に関し、気候学的には重要な問題であるにもかかわらず十分な成果を得ることができなかつた。

熱帯外の前線帯については、Schumann, T.E.W. 等 (1951) 以来、Reed, R.J. (1960), van Loon, H. (1965), M. M. Yoshino (1963) や筆者 (1968) 等により、実際の天気図上の前線の出現頻度から、その位置や年変化の詳細が調査されて、従来の方法による結果と差のあることが指摘されている。

ITC についても、日々の存在が最近になって注目をあびてきたが、ITCZ についても、その季節的な位置の変化や構造を知るうえで、ITC の出現頻度から位置を決定することが有利であると考えて、若干の作業を試みた。

## 2. 集 計 方 法

IGY 期間中のハンブルク海洋気象台発行の赤道天気

図 (資料 1) には、Alpert, L. の定義に従い風の場の解析から、日々の ITC が記入されている。同期間中で、観測点の数も多く精度も高いと思われる 1958 年を選び、日々の天気図上の ITC の出現頻度を、緯度経度 5 度のます目毎に数え、月単位で集計した。結果はます目の面積に差があるので、面積補正を行ない、さらに月による日数の差を補正するためパーセントになおした。等値線は図上の制限から 25% 毎に引き、75% 以上の部分は網目をかけてある。なお、本報で ITC とは日々の天気図上のものを意味し、ITCZ とは ITC が出現しやすい帯状の部分の意味している。

## 3. ITCZ の年変化

月別に集計した結果を第 1 図に示した。各月の ITCZ の位置、ITC の出現頻度の分布にみられる特色は、以下に記すとおりである。

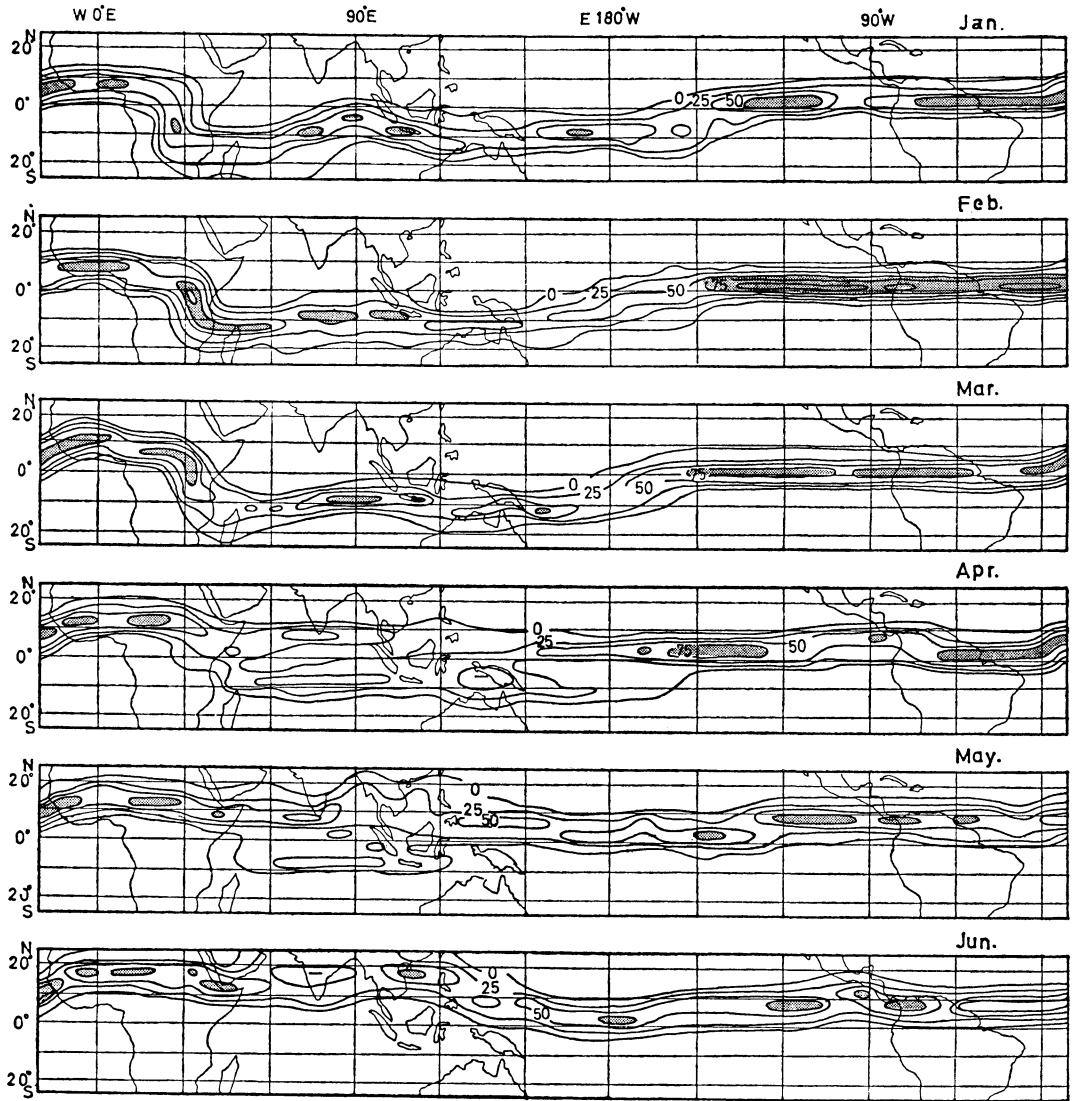
1 月：大西洋上での ITCZ は 2.5°N 付近にあり、出現頻度は 75% 以上であるが、アフリカ西部では 7.5°N 付近まで北上する。出現頻度は 75% 未満の所が多い。ITCZ は 30°E 付近で南北に走るようになり 10°S 以南に達する。アフリカ東岸では、集中する中心は 10°~15°S にあるが、広く 5°~25°S の範囲に出現してゐる。インド洋上では 90°E 付近で北上傾向が見られ赤道付近まで移動している。ここでの出現頻度は部分的に 75% 越す。西太平洋上においては ITCZ の位置は 7.5°S 付近を走る部分が多いが、160°W 付近より徐々に北上し、140°W で北半球に移る。この東方では ITCZ は赤道のすぐ近くを緯線とほぼ並行して走り、大西洋まで続く。75% 以上の出現頻度を見るのは、170°E, 120°W 付近および

\* A Climatological Study on the ITCZ

\*\* M. Yoshimura 山梨大学教育学部

—1969年 9月16日受理—

—1970年 1月12日改稿受理—



第1図 A ITC 出現頻度分布図 1～6月

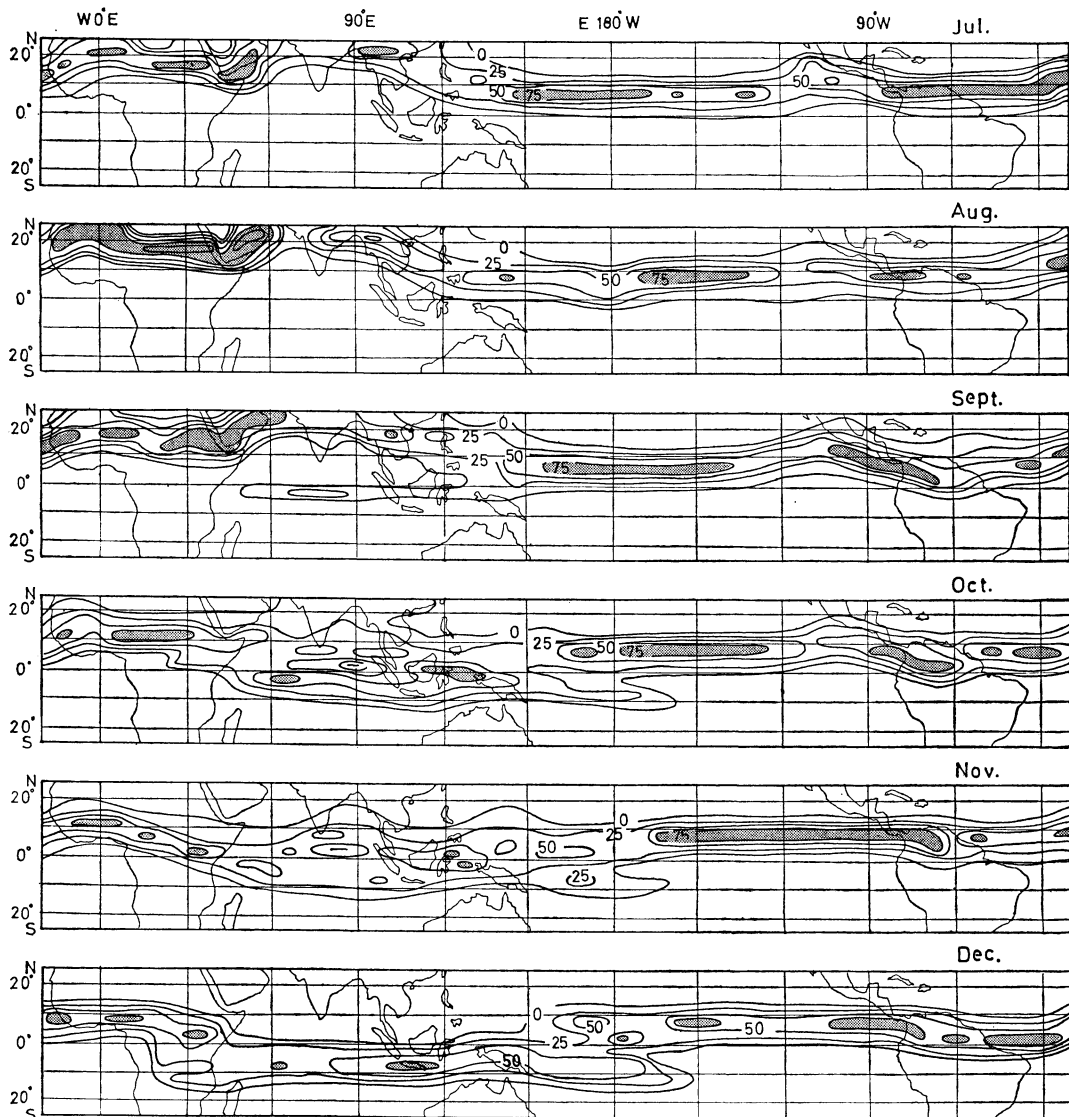
図中の等値線は ITC の 285,000km<sup>2</sup> 当り出現頻度 (%) を示し、網目の部分は75%以上の値を示す。ほぼ緯線と並行して走る出現頻度の多い帯状の部分を、筆者は ITCZ と呼びたい。

南米の陸上である。

2月: 90°E 付近のインド洋上で ITCZ の南下があり、中部太平洋上で南半球から北半球へと赤道を横断する位置が 160°W 付近に移った他に、大きな位置の変化は認められない。出現頻度は、30°E 以東のアフリカからインド洋の西部では75%以上に、135°W~30°W の海上では100%に達している。

3月: アフリカ西部では ITCZ は10°N 以北まで北上し、インド洋中央で集中域が7.5°S に限られる他に、大きな位置の変化は認められない。また東部太平洋から大西洋にかけての ITC の出現頻度は減少している。

4月: 全般に ITCZ の北上傾向が明瞭になる。また SITCZ, NITCZ に相当すると思われる集中域が、インド洋を中心に出現する。すなわち、30°E 以西のアフリ



第1図 B 第1図Aと同じ、ただし7~12月

カでは ITCZ は  $10^{\circ}\text{N}$  以北にあるが、 $30^{\circ}\text{E}$  以東では3月まで認められた急激な南下が認められなくなり、アフリカの陸上では南半球のITCZは消滅する。インド洋上では  $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 、 $65^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{E}$  付近の50%に達する出現頻度を示す集中域を中心として NITCZ が形成され、この東方でも西太平洋にかけて  $10^{\circ}\text{N}$  付近までの低緯度地方での ITC の出現が見られるようになる。SITCZ に相当すると思われる集中域は、赤道直下ではなく、 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{S}$  の範囲を  $50^{\circ}\text{E}$  付近から、ニューギニア周辺を例外とし、 $160^{\circ}\text{E}$  付近まで達している。さらに、この東方

でも  $160^{\circ}\text{W}$  付近までは南半球側に ITC の出現する場合がある。一方、太平洋の NITCZ は  $160^{\circ}\text{E}$  以東で明瞭となり、中米の西岸では  $10^{\circ}\text{N}$  近くまで北上する部分もあるが、他の場所では赤道の北側を走っている。

5月: SITCZ はインド洋のみ出現し、そこでの出現頻度も減じている。北半球側の ITCZ は、アフリカの西海岸では  $10^{\circ}\text{N}$  付近にあるが、内陸では  $10^{\circ}$  以北に達する部分もある。インド洋上の NITCZ での出現頻度は前月より多くなっており、その東方のマライ半島からミンダナオ島でも出現頻度は25%以上になっている。

またこの東方の太平洋にかけては明瞭な集中域が形成されている。さらにこの月には120°W以東の太平洋、南米、大西洋にかけて、ITCZが前月より5°程北上している部分が多いのもこの月の特色である。

6月: SITCZは全域で消滅し、アフリカおよびアジアの大陸上では、ITCZは17.5°N付近まで北上する。インド半島では10°N付近と20°N付近に集中域が形成されているが、南側のものは月の前半の位置であり、北側のものが月の後半の位置に相当しており、同時に存在するものではない。また東南アジアでは、5月にはマライ半島付近を横断していたITCZはトンキン湾付近まで北上し、そこからフィリピン東方にかけて、前月と異なる走り方が明瞭になる。太平洋から大西洋にかけてのITCZの位置には、大きな差は認められないが、中米の西岸では部分的に10°N以北に達する部分がある。ITCZの出現頻度は75%未満の部分が広いが、南米から大西洋にかけては、75%以上の部分も認められる。

7月: ほぼ全域にわたりITCZは最北の位置に達している。すなわち、アフリカの西海岸では12°N付近に位置しているが、0°Eでは20°N以北まで達し、この東では再び南下して17°N付近にある。紅海ではさらに南下し、アデン湾まで南下する。その東方ではアラビア半島を斜めに横断し、60°Eでは25°N以北に達するが、90°E付近で再び22°N付近まで集中域は南下し、その東端は華南まで達している。太平洋上ではITCZは5°~10°Nの間を走る部分が多いが、120°Wから90°Wの範囲では12°N付近まで北上している。出現頻度は中部太平洋上、および南米から大西洋にかけて75%以上に達する部分がある。

8月: ITCZは全般的には7月に類似した走り方を示すが、アラビア半島ではさらに北上している。また80°E以東のアジアからフィリピン付近にかけては明瞭な集中域が形成される。さらに180°付近の太平洋上および中米の西岸では、逆に集中域の南下している点などに7月との差が認められる。出現頻度の上では、アフリカからアラビア半島にかけては100%に達する地域が出る。東南アジアでも出現頻度が急増する点に差が認められる。

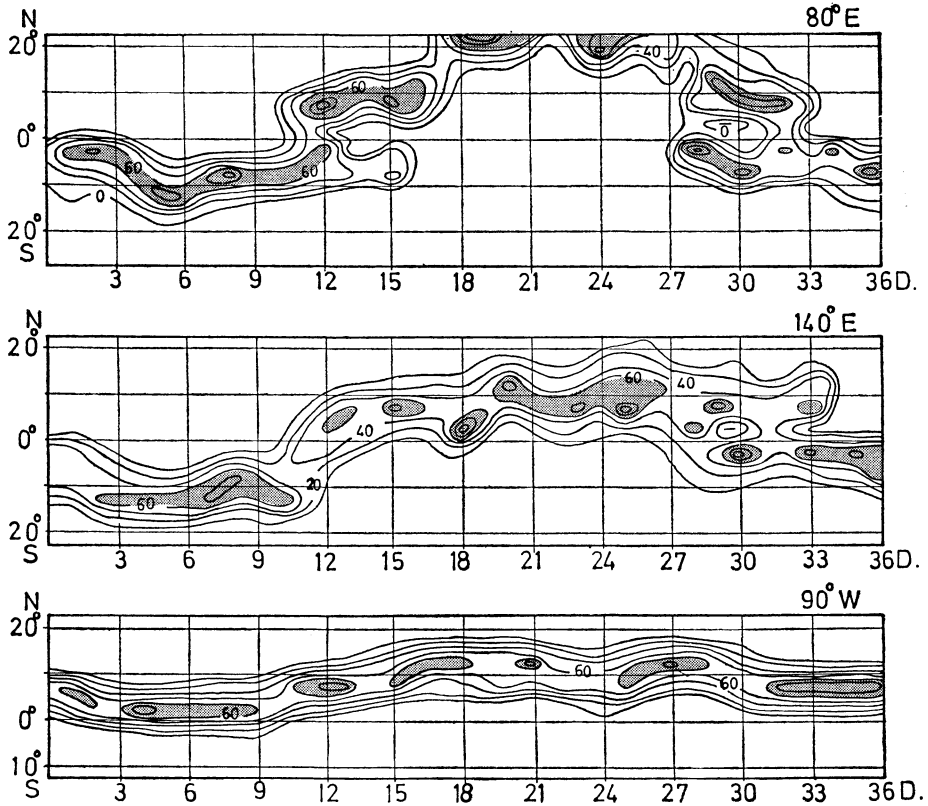
9月: 全般にITCZの南下が始まり、アフリカでは20°N以北にITCZが見られる部分は限られてくる。アジアでは90°E以西では20°N以北にあるが、その東ではすでに20°以南に南下している。ただし海上では南下傾向は弱く、中部太平洋ではITCZの出現頻度に差が

認められるのみであり、中米の西岸ではITCZは逆に8月より北上し、10°N以北に達している。しかし、南米の陸上では南下が始まっており、60°Wでは赤道近くまで南下している。また、この月の特色として、インド洋上で赤道のすぐ南に出現頻度は25%前後にしる、SITCZに相当する集中域が形成され、140°E付近で赤道を横断し、中部太平洋のITCZと連らなっていることである。

10月: 全般的には南下が明瞭になり、インド洋から中部太平洋にかけてのITCZの走り方が複雑になってくる。すなわち、アフリカ東岸ではITCZはソマリ半島付近を走り、コモリン岬からカマウ半島の先端付近を経て、さらに東方に続くインド洋上のNITCZに連らなっている。一方、SITCZは50°E付近より明瞭となって赤道のすぐ南を走り、ジャワ島を経てスラウェシ島付近に達して前述のNITCZと一つになり、75%以上の出現頻度を示す集中域が形成されている。この島の東方では再びSITCZが明瞭になり、ニューギニア島を経て180°付近まで達している。一方、150°E付近では不明瞭であったNITCZは160°E以東では出現頻度が増加し、5~10°Nの範囲内を緯線と並行に走るが、中米の西岸では相変わらず10°N以北にITCZがとっ出している。

11月: アフリカ西部では相変わらず10°N以北にITCZに見られるが、東部ではすでに赤道近くまで南下し、前月とは異なり、この月のITCZはインド洋上のSITCZと連らなっている。SITCZでの出現頻度は前月より多く25%以上に達しているが、明瞭な集中域を形成するにはいたっていない。またNITCZは前月より不明瞭となるが存在し、インド洋の両ITCZは前月とほぼ同じ位置で一つになっている。しかし、この東方では前月と異なり、NITCZが明瞭である。中部太平洋から南米を経て大西洋にいたる地域では、ほぼ緯度圏と並行してITCZが走るようになっている。またこの月に初めて、東南アジアでは大陸上からITCZが消滅する。

12月: 西アフリカから内陸にかけては7.5°N付近にあり、東アフリカからインド洋を経て150°Wにかけては、7.5°S付近にITCZが集中しており、インド洋のNITCZは認められない。2本のITCZが赤道をはさみ両半球に認められるのは西部太平洋で、NITCZは7.5°N付近を走っている。なお南米から大西洋にかけては集中域は2.5°N付近まで南下するが、出現頻度は前月程多くなく、75%に達する部分は少い。



第2図 特定経線上の ITCZ 出現頻度の緯度・時間(旬)変化  
網目は60%以上を示す。

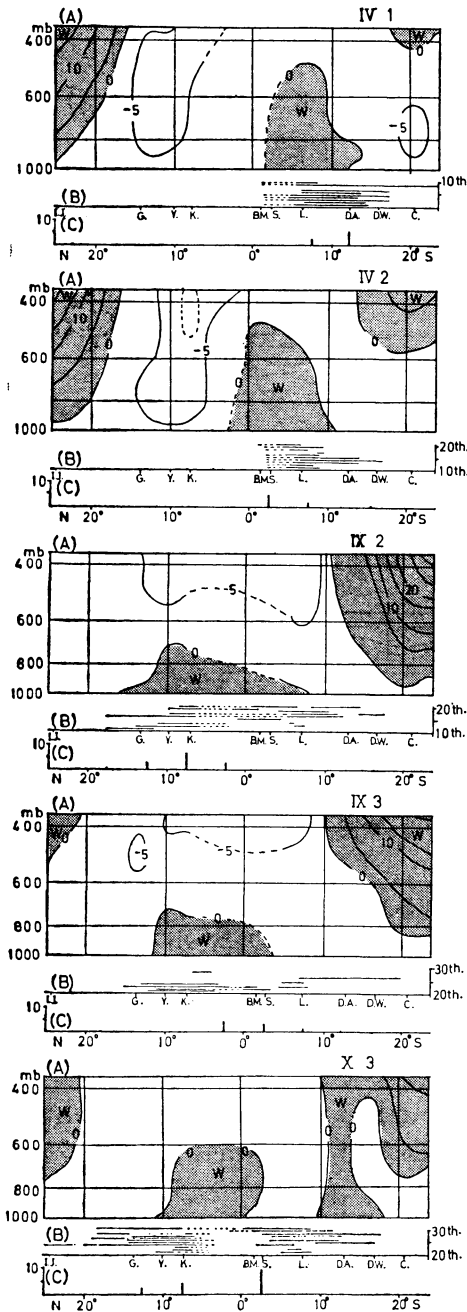
#### 4. 従来研究結果との比較

ITCZ の位置について、従来の研究結果と比較してみると、大きな違いは南米およびアフリカの陸上にある。すなわち、Sawyer (1952), Watts (1955), 吉野 (1968) 等は、南米では北半球の冬には ITCZ は赤道を越して南半球側にかなり侵入しているように示したが、今回の集計結果では ITCZ は年間を通じて北半球側にあり、その事実は認められなかった。また Watts (1955) は夏に北半球側に2本の ITCZ を考えているが、その存在も認められなかった。

アフリカについては、Weickmann (1963) は1・4・7・10の各月について平均気圧分布図から2本の ITCZ の存在を、Flohn (1965) は冬季について2本の ITCZ の存在を示しているが、この内の SITCZ に相当する集中域は 30°E 以西については、年間を通じて認められなかった。また冬の北半球の ITCZ の位置は、西アフリカでは陸上にあり、Sawyer (1952), Flohn (1965) の示す位置に近かった。

インド洋上に2本の ITCZ が存在することは、Weickmann (1963) が1月と7月について、70°E 以東について示しており、Watts (1955) は、その2本の ITCZ が、ニューギニア付近で一つになることを示している。また吉野 (1968) は7月に SITCZ が存在することを図示している。しかし、今回の集計結果では、1月については、2本の ITCZ が存在することなく、4月および5月と9月から11月にかけては、より広い範囲に2本の ITCZ が認められた。この春・秋に2本の ITCZ が海上に存在する事実は従来あまり指摘されていない。これについては、さらに後述したい。

東南アジアから北太平洋の西部にかけての ITCZ の走り方で問題になるのは、大陸上の ITCZ と海上のそれがどのように連絡しているか、という点である。これについては、6月、8月、9月の集計結果から明らかな通り、明瞭な走り方としては、大陸上から北太平洋にかけて、1本の ITCZ が走っているとするものである。しかし、華南から台湾付近は ITC の出現頻度もある程度



第3図 140°Eに沿う特異な旬における東西成分の平均値 (A), 日々の地上の赤道偏西風の範囲 (B), および地上のITCの出現回数 (C).  
 図上部のⅣは月を1…は旬を示し, 横軸は全ての旬について共通する. (B)の右側の数字は日付を示す.

高く, 日々の天気図上で, 他地域とは不連続の ITC が出現する場合もあるので, 時には台湾収束帯 (Thompson B.W. 1951, 吉野1968) が形成されると考えることができる.

冬季の太平洋上での ITCZ が, 南半球から北半球へと移動する位置は, 従来の説は多く分かれており, Sawyer (1952) は 175°E, Watts (1955) 170°W, 吉野 (1968) 130°W, Godshall (1968) 180°付近と差が大きい. 今回の集計結果では, 1月には 160°W 付近であったが, 月が進むにつれて西進しており, またこの冬の中部太平洋で報告されている異常な気象現象 (Ichiye, T. 等 1963) と比較してみると, この年の1月の位置は例年より東方まで南半球側に位置しているといえよう.

Alpert (1945) は 90°W に沿う緯度断面について ITCZ の年変化を追跡して, 1) ITCZ は2月から3月に最南の位置に達し, 2) 北上する速度が南下する速度より急であり, 3) 7・8月は6月と9月に比較して一時的に南下しているなどの点をその特色として示している.

年変化をより詳細に見るために, 2本の ITCZ のあった 80°E, 他に資料の得られる 140°E および 90°W について, ITC の出現頻度の緯度・時間 (旬) 断面図を作り, 第2図に示した. その結果3つの経線に沿う断面での共通事項として, 次の諸点を見出した.

- 1) ITCZ が最南の位置に達する時期はそれぞれの経線上で異なるが, 急激に北上するのは4月第1旬以後である.
- 2) それ以後, 直接に最北の位置まで移動するのではなく, 4月末から5月末にかけては, 移動の停止期間があり6月に入って再び移動が始まる.
- 3) 8月の中頃を中心として南下するか北上するかは場所により異なるが, 7月および9月の位置とは, 一時的に異なる場所へ移動している.
- 4) 南下が開始するのは9月第3旬以後であるが, 4, 5月と同様に直接に最南の位置まで達するわけではなく, 南下の途中でも休止期間が存在している.

従って Alpert (1945) が述べた事実は, 今回の調査でも認められたが, ITCZ の位置が夏には, 今回の調査の方が北上している. また, ITCZ の位置の変化が月単位の集計結果とは異なり, 熱帯外の前線帯と同様に, その位置の変化が年間を通じて連続的に変化するものでなく, 段階的にその位置を変える事実が認められたのは新しい点である.

## 5. ITCZ と赤道偏西風

インド洋から西太平洋にかけての地域で、春秋の赤道付近での高日季に、赤道を挟む  $10^\circ$  以内の狭い範囲内に 2 本の ITCZ が存在する事実は、従来の南北両半球の貿易風の収束域が ITCZ であるという説が必ずしもすべての ITCZ についていえるか疑問であることを示している。第 2 図に示した  $80^\circ\text{E}$  に沿う ITC の出現頻度の年変化 (旬単位) を見ると、明らかにある期間においては、2 本の ITC が赤道を挟み同時に存在しているものであり、その中間部分には独立した風系を考慮しなければいけない。これについて Flohn (1953) が大陸上について、夏または冬の場合の説明を行なっているが、海上しかも春・秋といった夏半球の ITCZ が赤道の極く近くに存在する場合の説明とはなりえない。また Flecher (1945) の説明によれば、ITC は赤道の両側で出現したり消滅したりしなければならず、第 2 図のように、かなり長期間にわたり、2 本の ITCZ が存在することの説明としては不十分であると考えられる。また、アフリカや南半球で指摘されている、赤道偏西風の範囲と ITCZ の位置とは一致しないので、赤道偏西風の限界はすなわち ITCZ という考えが必ずしも成り立ちえないことを示していると考えた。

この点を明らかにするために、IGY 期間中の  $140^\circ\text{E}$  に沿う断面図 (資料 2) を利用して、旬平均の東西成分の分布、地上の赤道偏西風の日々の範囲、ITC の出現頻度を特殊な旬について作成し第 3 図に示した。すなわち断面を作成したのは、ITCZ が北上を開始する前後の 4 月第 1 旬、第 2 旬、逆に南下を開始する前後の 9 月第 2 旬と第 3 旬、およびこの線線上で 2 本の ITCZ が存在する 10 月第 3 旬である。なお図中の (c) の横軸のローマ字は、左よりそれぞれ Iwo-Jima, Guam, Yap, Karor, Blak/Makmer, Sentani, Lae, Darwin, Aerodome, Daly Waters, Cloncurry を意味する。

4 月第 1 旬の場合、ITCZ は  $5^\circ\sim 15^\circ\text{S}$  の間に集中し、赤道偏西風の日々の南限は  $12^\circ\text{S}$  付近にある場合が多く、平均値の上では  $12^\circ\text{S}$  付近にある。しかし第 2 旬に入ると ITC は  $0^\circ\sim 5^\circ\text{S}$  に集中する場合が多くなるが、日々の赤道偏西風の南限は  $10^\circ\text{S}$  付近にある場合が多く、旬平均の上でも南限はほぼ同じ位置にあるので、ITCZ の位置は赤道偏西風の南限とは一致しない。

9 月の第 2 旬の場合には、ITCZ は  $0^\circ\sim 20^\circ\text{N}$  の広い範囲に出現しているが、集中しているのは  $5^\circ\sim 10^\circ\text{N}$  の範囲であり、赤道偏西風の日々の北限よりはやや内側

に当たっている。また平均値の上からは、ITC の出現位置は全く赤道西風域の内側である。またこの旬には、 $5^\circ\sim 10^\circ\text{S}$  付近に日々の断面図上に北側の偏西風とは不連続に偏西風域が形成されているが、これに対応する ITC は出現していない。一方、9 月第 3 旬の場合には ITC は  $5^\circ\text{N}$  から  $5^\circ\text{S}$  の間に出現しているのに対し、日々の赤道偏西風の北限は  $10^\circ\text{N}$  を越す場合もあり、旬の平均値の上でもその傾向が認められ、赤道偏西風の内側に ITCZ が形成されているといえよう。またこの旬にも第 2 旬と同様に  $10^\circ\text{S}$  付近に別の偏西風域が出現する場合は認められたが、これに対応する ITC は 1 回出現している。

10 月第 3 旬の場合にはさらに複雑であり、ITC は  $0^\circ\sim 5^\circ\text{S}$ ,  $5^\circ\sim 10^\circ\text{N}$  付近に集中している。この位置は確かに旬平均の上では赤道偏西風の限界に相当するが、日々の赤道偏西風の限界はこの付近に出現するものではなく、北半球側ではこの旬に赤道偏西風の限界が  $10^\circ\text{N}$  を越した例が 8 回もあり、NITCZ は赤道偏西風の内側に作られていることになる。一方、SITCZ の位置は  $5^\circ\sim 10^\circ\text{S}$  付近を中心形成されている別の偏西風の北限付近に当る例が多く、北半球側から連続している偏西風域の南限とは一致していない。

従って、 $140^\circ\text{E}$  の場合 ITC の出現しやすい位置は、平均値上の地上の赤道偏西風域の南限あるいは北限に近い位置である場合もあったが、日々の赤道偏西風の限界とは必ずしも一致していない。また、この経線上では赤道偏西風域は単に一つの風系で示すことのできるものでなく、数本の偏西風帯に分れる場合もあって、単純に赤道偏西風域の限界に ITCZ が形成されるとはいきれない。この差は地上天気図と、断面図という解析の対象の差によるものだけでなく、赤道偏西風と呼ばれるものの内部構造にも問題があるように考える。

## 引用文献

- Alissow, B.P. et al, 1954: "Lehrbuch der Klimatologie" Berlin, 536 S.  
 Alpert, L., 1945: The intertropical convergence zone of the eastern Pacific region (1).  
 Bull. Amer. Meteor. Soc. **26**, 426-432.  
 Flecher, R.D., 1945: The general circulation of the tropical and equatorial atmosphere.  
 Jour. Meteor. **2**,  
 Flohn, H., 1953: Wilhelm Meinardus und die Revision unsere Vorstellungen von der Atmosphärischen Zirkulation.

- Zeit. Meteor. **7**, 97-108.
- Flohn, H., 1965: Studies on the meteorology of tropical Africa. Bonn. Meteor. Abhandl. **5**, 57p.
- Godshall, F.A., 1968: Intertropical convergence zone and mean cloud amount in the tropical Pacific Ocean. Mon. Weath. Rev. **96**, 172-175.
- Ichiye, T. and J. R. Peterson, 1963: The anomalous rainfall of the 1957-58 winter in the Equatorial Central Pacific Arid Area. Meteor. Soc. Japan, **41**, 3, 172-182.
- Reed, R.J., 1960: Principal frontal zone of the Northern Hemisphere in winter and summer. Bull. Amer. Meteor. Soc. **41**, 591-598.
- Sawyer, J.S., 1952: Memorandum on the inter-tropical front. Meteor. Rep. 10, British Meteorological office.
- Schumann, T.E.W. et al, 1951: Frequency of fronts in the Northern Hemisphere. Arch. Meteor. Geoph. Biokl. (A) **4**, 87-97.
- Thompson, B.W., 1951: An essay on the general circulation of the atmosphere over southeast and west Pacific. Quart Jour. Roy. Meteor. Soc. **77**, 569-597.
- van Loon, H., 1965: A climatological study of the atmospheric circulation in the Southern Hemisphere during IGY Part 1. July 1957-31 March 1958. Jour. Appr. Meteor. **4**, 479-491.
- Watts, I.E.M., 1955: Equatorial weather. London 185-199.
- Weickmann, L., 1963: Mittlere Luftdruckverteilung im Meeresniveau während der Haupt Jahreszeiten im bereiche um Afrika, in dem Indischen Ocean und den angrenzenden Teilen Asiens. Met. Rundsch. **16**, 89-100.
- Weickmann, L., 1964: Mittlere Lage und Vertikale Struktur grossräumiger Diskontinuitäten im Luftdruck und Strömungsfelder Tropenzone zwischen Afrika und Indonesien. Met. Rundsch. **17**, 105-112.
- Yoshino, M.M., 1963: Rainfall, frontalzones and jet streams in early summer over East Asia. Bonner Meteor. Abh. and 3, 1-127. s
- 吉野正敏, 1968: 気候学, 地人書館, 252頁.
- 吉村 稔, 1967: 北半球の前線帯の年変化, 地理学評論, 40, 393-408.

#### 資料

- 1) Deutscher Wetterdienst Seewetteramt Hamburg: International Geophysical Year 1957-1958, World Weather Maps. Part II Tropical Zone
- 2) Japan Meteorological Agency: Daily Series IGY Aerological Cross-Section II Patr II Along 140 E