

# 東西指数と波動による顕熱輸送\*

石川 裕彦\*\* 廣田 勇\*\*\*

## 要旨

冬の北半球中緯度対流圏中層で、東西指数と大規模波動による顕熱輸送との関係を調べた。その結果、東西波数1～4の波動による顕熱輸送は低指数期に、波数5～7の波動による輸送は高指数期にそれぞれ大きくなっていることがわかった。さらに顕熱輸送の大小は、特に長波領域で、波動の振幅よりも温度場と高度場の位相差に大きく依存することを示す結果が得られた。また、波動を定常成分と非定常成分に分けた解析の結果、高指数期には非定常波が、低指数期には定常波が顕熱輸送に対し相対的に重要になることが殆どどの波数でみられた。

## 1. はじめに

放射収支の南北差に起因する大気による極方向へのエネルギー輸送が、低緯度では主として平均子午面循環によって行なわれるのに対し、中高緯度では波動による輸送が重要であることはよく知られている。Palmen・Newton (1969) によると、中緯度帯での平均子午面循環による顕熱と位置エネルギーの輸送はむしろ逆向きである。中緯度帯での大気波動に関しては、地形による熱的・力学的影響について、また傾圧不安定性のような大気の平均的状态との関係について、多くの解析的・理論的研究がなされている。一方総観的な立場からは、天気図の分類や帯状流の類別が行なわれ、東西指数と波動の関係が調べられている(和田, 1969)。さらに、Kao・Sagendorf (1970) は、1964年の冬期3ヶ月について、波数-振動数空間で波動による顕熱輸送を調べている。またMiles (1976) は、地上データから構成したいくつかの指数と総輸送量との対応関係を調べている。しかし、現実大気中の波動の様相は複雑であり、さらに多くの研究が必要と考えられる。

この研究では東西指数と波動との関係を見る為に、波数解析を用いて大気波動をフーリエ成分に分解し、高指数期と低指数期で波動の振幅および顕熱輸送がそれぞれ

どのような特徴を示すかを、冬の北半球中緯度対流圏中層について調べることを試みた。

## 2. 資料と解析方法

対流圏中層を代表するものとして500 mb面の高度と温度を用いる。使用するデータは、NCARでまとめられた1日2回のデータで、緯度、経度ともに5°毎の格子点値に焼き直されている。この解析では、各日について2回のデータの平均をその日のデータとして扱った。解析期間は、東西指数の変化が顕著であった、1970年1月から3月までである。

解析期間で波動の振幅が最も大きな緯度帯である45°N±10°の領域を考え、この緯度帯で55°Nと35°Nとの帯状平均高度の差として東西指数を定義する。東西指数の大小に応じて、高指数期と低指数期を定める。次に、45°Nにおける毎日の高度場と温度場をフーリエ成分に分解する。また、地衡風近似により高度場から南北風を求め、これと温度場から顕熱輸送量を計算する。第k成分波による顕熱輸送量は、

$$(T^*V^*)_k = \frac{g}{2fR} k T_k H_k \sin \phi_k \quad (1)$$

で与えられる。ここで、Rは緯度円半径、 $T_k, H_k$ は、温度場、高度場の第k成分波の振幅、 $\phi_k$ は両者の位相差である。星印(\*)は、緯度平均からの偏差を表す。このようにして得られる毎日の顕熱輸送量を、高指数期、低指数期でそれぞれ平均し比較する。

さらに、各々の期間で期間平均(30日平均)として定常波を定義し、定常波による輸送、

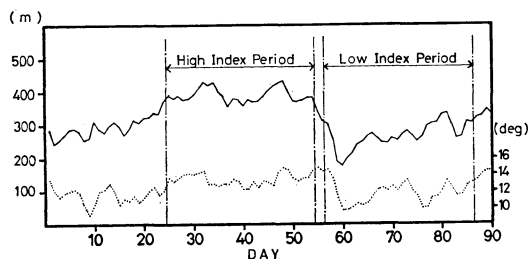
\* Zonal index and sensible heat flux associated with atmospheric waves.

\*\* Hirohiko Ishikawa, 京都大学理学部地球物理学教室(現 京都大学防災研究所)。

\*\*\* Isamu Hirota, 京都大学理学部地球物理学教室。

—1979年6月4日受領—

—1979年9月12日受理—



第1図 東西指数(実線)と緯度平均温度の差(点線)の変動。DAY 1は1970年1月1日。

$$(\bar{T}^* \bar{V}^*)_k = -\frac{g}{2fR} k \bar{T}_k \bar{H}_k \sin \bar{\phi}_k \quad (2)$$

と非定常成分による輸送,

$$(T' V')_k = -\frac{g}{2fR} k T'_k H'_k \sin \phi'_k \quad (3)$$

とを求め、両期間での比較を行なう。(2)(3)式で、バーは時間平均、ダッシュは時間平均からの偏差を表わす。

### 3. 解析結果

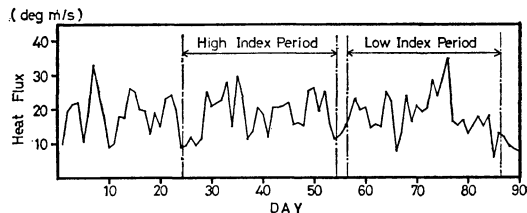
#### 3.1. 緯度平均場の変動

第1図に、1970年の1月から3月までの東西指数の変化を実線で示す。破線は55°Nと35°Nとの間での緯度平均温度の差を示しており、平均東西風の鉛直シアの強さに対応するものである。両者がよく似た変化のようすを示しているのは、等圧面高度がそこより下の部分の温度を反映している為である。図中に示してあるように、高指数期と低指数期を30日幅で設定する。高指数期での毎日の東西指数の期間平均は389mであり、低指数期でのそれは258mである。また、緯度平均温度差はそれぞれ、13.4°C、11.6°Cである。DAY 55 から DAY 60 までの間に急激に高指数から低指数へと転じているのが特徴である。

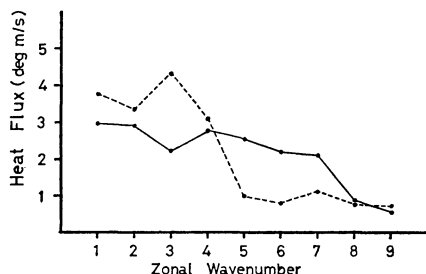
#### 3.2. 波動と顕熱輸送

まず、第2図に東西波数30までの和として求めた毎日の輸送量の変動を示す。高指数期、低指数期での輸送量の平均はそれぞれ、18.7(deg m/s)、18.8(deg m/s)であり殆んど差がない。さらに、東西指数が急激に減少するDAY 60前後でも大きな特徴は認められず、3ヶ月間を通じて、10日余りの周期と、より短い周期の重なったような変動を示していることがわかる。

次に、第3図には両期間での顕熱輸送を波数別に比較

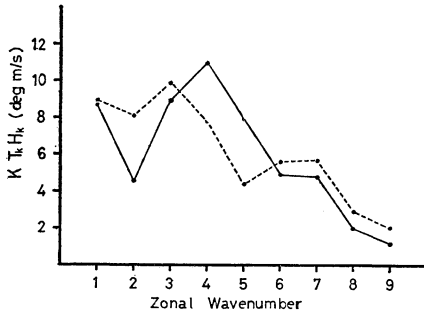


第2図 45°N, 500 mb 面での北向きの顕熱流束の変動。波数30までの和を示してある。



第3図  $(T^* V^*)_k$  の比較。実線は高指数期、破線は低指数期の平均流束を表わす。

してある。波数10以上による輸送は小さいので省略してある。大きな特徴は、波数1～4の波動による顕熱輸送は高指数期よりも低指数期の方が大きく、波数5～7の波動による顕熱輸送は高指数期の方が大きいことである。すなわちこの結果は、高指数期と低指数期とで総輸送量には殆んど差がないが、それを担う波動のスケールが異なり、高指数期には波数5～7の波動が、また、低指数期には波数1～4の波動が相対的に大きく貢献していることを示している。第1図に示したように、東西指数の変動と緯度平均温度差の変動がよく合致している点を考えると、高指数期には波数5～7(波長にして4,000～6,000 km)のいわゆる長波が、傾圧不安定により発達し、熱輸送を効果的に行なっている様子を反映していると考えられる。ここでひとつ留意しておきたい点は、両期間での高度場、温度場の波の振幅を比較すると、波数6, 7の波動はむしろ低指数期に振幅が大きくなる点である。(1)式で位相差の部分を除いた  $(k T_k H_k)$  の部分を第4図に示してある。このパターンは、温度場と高度場それぞれの振幅について描いたものと同様なスペクトル分布を示しており、高指数期に卓越するのは波数4と5である。この事実は、顕熱輸送の式

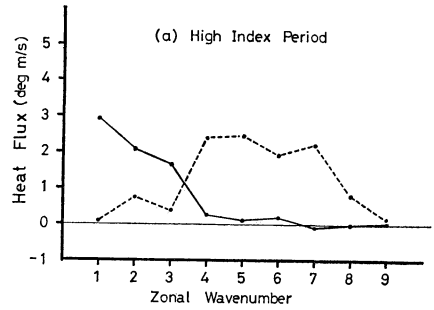


第4図 ( $kT_k H_k$ ) の比較。実線は高指数期、破線は低指数期を表わす。

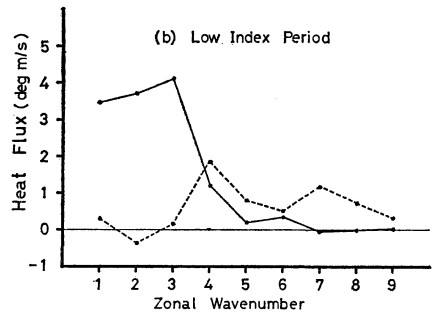
で  $\sin \phi_k$  が大きく効いていること、すなわち高度場と温度場の位相差が重要な意味を持っていることを示しており、波動が発達するというよりは、組織化されるという方がより適切なように思われる。一方、波数1～3は、連続的な位相変化（東西方向への移動）はなく、殆んど停滞している。これは、良く知られているように大規模な地形の影響を受けているためと考えられる。波数5以上の波は一般に東へ移動する性質を示す。波数4の位相変化はどちらも言い難く、両方の性質を持っているようである。

### 3.3. 定常波と非定常波

第5図(a)(b)には、高指数期と低指数期の顕熱輸送について、定常波による部分(実線)と非定常成分による部分(破線)とがそれぞれ示してある。まず両期間に共通した特徴は、波数1～3では定常波による輸送が、波数4～8では非定常成分による輸送が大きいことである。このことは、3.2節で述べた位相変化の別の表現と言えよう。もうひとつの特徴は、非定常成分による輸送が、高指数期には全体の約62%であるのに対し、低指数期には30%と減少することである。すなわち高指数期には非定常な波動が、また低指数期には定常性の波動が相対的に重要になる。これは、顕熱輸送に寄与する波動のスケールが異なることの別の表現と言える。さらに、非定常成分を高指数期と低指数期で比べると、波数2～8で高指数期の方が大きくなっている。また、波数4の波動は、定常成分と非定常成分の割合からみると、波数5以上と同じ性質を示している。これは、定常成分と非定常成分とを分離しない場合には、波数4による顕熱輸送は超長波の場合と同じセンスであるという3.2節の結果と若干異なっている。



(a)



(b)

第5図 定常成分(実線)と非定常成分(破線)による流束。(a)高指数期、(b)低指数期。

## 4. まとめ

この解析で得られた結果は以下のように要約される。

(1) 高指数期と低指数期では顕熱輸送に寄与する波動のスケールが異なり、高指数期には波数5～7の波が、また低指数期には波数1～4の波が相対的に重要となる。

(2) 定常波による輸送は波数1～3に集中し低指数期に大きく、非定常波による輸送は波数4～7で大きく、高指数期に重要となる。

(3) 顕熱輸送の変化は、単に波動の振幅の変化によるのではなく、むしろ、温度場と高度場の位相差に関係している。

この解析では、東西指数と顕熱輸送の関係をみるのに、時系列データとしての取扱い(相関解析等)を行わず、30日幅の期間を設定して比較した。これは、ひとつにはデータ期間の長さの問題もあるが、このような非線型相互作用を含む系に対しては、たとえば東西指数と

顕熱輸送の相互関係を求めるというような方法を用いて日々の値の時系列でみるよりも、ある期間の平均でみた方が、より特徴がつかめると考えられるからである。また、この解析は、時間的・空間的に非常に限定されたものであり、上記の結果が他の緯度帯や季節でも同様であるとは言えないであろうが、逆にこのようなケーススタディで上に示した特徴がはっきりみえた点に意味があると思われる。

#### 謝 辞

この研究は、著者の一人（石川）が京都大学理学部の卒業課題研究として行なったものである。研究の途上、種々の助言をして下さった山元龍三郎教授と、データの使用に関し御手数をわずらわせた大学院学生の小林寿雄氏に感謝する。

#### 文 献

- Kao, S.K., and J.F. Sagendorf, 1970: The large-scale meridional transport of sensible heat in wavenumber frequency space, *Tellus*, 22, 172-185.
- Miles, M.K., 1976: The relation of the poleward flux of sensible heat during the winter half year to some zonal and meridional indices of the circulation, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 102, 743-748.
- Palmen, E., and C.W. Newton, 1969: *Atmospheric circulation systems*, Academic Press, New York, pp. 603.
- 和田英夫, 1969: 長期予報新講, 地人書館, pp. 234.