

平成 22 年 6 月 9 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19540455
 研究課題名 (和文) 対流圏上層擾乱の挙動の力学的解明および地上擾乱との相互作用に関する研究
 研究課題名 (英文) Study on the behavior of disturbances in the upper troposphere and the interaction with disturbances on the ground
 研究代表者
 伊賀 啓太 (IGA KEITA)
 東京大学・海洋研究所・准教授
 研究者番号：60292059

研究成果の概要 (和文)：対流圏上層の擾乱の振る舞いを、シアを持つ基本流中の中立波の観点から詳細に解析した。このような中立波の解析手法を確立するとともに、弱い散逸効果を入れたときの波の性質の変化のようすを示した。また、このような擾乱が十分に発達して準定常状態に至ったときの渦の分布を統計的に明らかにした。さらに、上空に擾乱が存在する状態で地上に発達する擾乱を、力学モデルを用いた数値シミュレーションによって調べ、発達する擾乱の種類およびそのメカニズムを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：We analyzed in detail the behavior of disturbances in the upper troposphere, from the view point of neutral waves in a basic flow with shear. We established the analysis method for such neutral waves, and made clear the features of the waves when weak dissipation is considered. We clarified statistically the distribution of the vortices in the steady state after the disturbances are fully developed. We also investigated the disturbances on the ground developing under the existence of upper disturbances by numerical simulations of a mechanical model, and made clear the kinds of developing disturbances and its mechanism.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2007 年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2008 年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2009 年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 気象・海洋物理・陸水学

キーワード：圏界面波動 中間規模東進波 シアー流中の中立波動 波の相互作用 渦の統計理論 渦の混合

1. 研究開始当初の背景

大気の対流圏の上層では多様な運動が起きているが、我々が直接感じることのでき

る下層の大気の運動とは異なって、その様子が容易には認識できないものも多い。対流圏の上層で生じるさまざまな大気現象が、観測

手段の発達とともに次第に明らかにされてきた。

比較的近年になって認識されるようになった現象の例として、大気の大気対流圏界面で起こる「中間規模東進波」と呼ばれる現象がある。これは偏西風帯の上空の圏界面に捕捉され、日本を含む東アジア域上空で特に顕著に見られる周期二十数時間、波長二千数百 km の波動であるが、その性質はデータ解析などを通して研究が進んできており、準地衡流のモデルの理論的な解析によってこの波動が基本場の渦位の「鉛直勾配」に起因して伝播するといった基本的な仕組みの解明も進められてきていた。しかし、その励起源については、チベット高原による加熱の日変化によって熱的に励起されて波動が生じてそれが伝播してくるものなのか、それとも偏西風・ジェットが何らかの力学的要因によって波動が励起されているものなのかははっきりした結論が出ていないなど、解明されていないことも多かった。

一方、気象衛星の画像によって対流圏の上層に生じる新たな大気現象が明らかになった例も多く、定期的に配信されるようになった水蒸気画像は上層の空気のラグランジュ的な混合の様子をよく示しており、その画像によって対流圏の上層ではかなりの頻度で盛んに渦状の擾乱が生成されていることがわかってきていた。

このような対流圏上層の個別のさまざまな波動や渦が具体的に発見されるずっと以前から、大気の圏界面付近に捕捉された「渦」や「擾乱」は、「上空の擾乱」としてそれなりの注目をされ続けていた。大気の上層の擾乱というのは大気の下層の擾乱の発達と深く関わっていることが知られており、そのような下層の擾乱は日常の天気と直接関わるため予報の現場で昔から注目されてきたという背景がある。温帯低気圧の発達がこのような上層の擾乱の影響を受けたり、上層の擾乱と下層の擾乱がカップルして低気圧の急発達などを起こしたりすることがあり、特に、低気圧の急発達の予想は実用上重要であることから注目されてきた。単純化した設定における力学的な数値実験による研究も行われ、低気圧が発達するための条件がまとめられて上層の擾乱によってどのように下層の低気圧が発達するかという仕組みの議論もなされてきた。

このように大気の大気対流圏の上層・圏界面付近で生じる現象に関して、個別に観測された波動や渦という現象を説明する立場から「波動現象」「不安定現象」の例として議論がなされてきている一方で、このような現象を地上付近の擾乱を引き起こす擾乱あるいは相互作用をする擾乱として注目する立場からは「上空の擾乱」として定性的に議論に留ま

っていたことが多い。既述の「中間規模東進波」をはじめとした具体的な圏界面の波動や渦状の現象の知識とは結びつけられることがあまりなく、波動現象としての解析の知識が十分に上空の擾乱の力学的議論に活かされているとは言えない状態にあった。

2. 研究の目的

このような背景を考えて、本研究は対流圏上層・圏界面に存在する波動や渦などの現象を、力学的な観点から得られる知識を有効に利用して、これまで主に定性的に調べられてきた「上空の擾乱」に対して力学的な視点からの理解を与えることを目指した。まず中間規模東進波を代表とするような圏界面に発生する波動の性質を力学的な立場から調べ、上層の渦を不安定現象としてその基本的性質を明らかに整理して、これによって得られる波動現象としての解析の知識を用いて「上空の擾乱」の力学を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 地球流体力学的な観点から中間規模東進波の「波動」としての基本的性質や上層の渦の発生機構を詳しく記述して明らかにしていく。そのために、波の分散関係や固有モードの解析や不安定理論などの理論的手法を用いた研究を行う。

シアー中の中立波の解析方法を中間規模東進波の場合に適用して、その波の伝播性質の環境場依存性を調べる。シアー中に存在する波の分散関係を調べる解析方法を中間規模東進波のような波動の解析に適用することによって、伝播の速度・構造などの中間規模東進波の「波動」としての基本的性質を調べる。特に、代表的な環境場を設定してこの解析を行うことにより、環境場の変化に対して波の性質がどのような依存性を持っているかを明らかにする。

(2) 上空の大気の流れの擾乱が発達して渦を形成する過程について、生じる渦の分布を統計的に調査する。

流れの不安定性から擾乱が発達し、そこから渦が形成されて定常的な状態に至るまでの過程を力学的なモデルを用いた数値計算を行い、最終的な準定常状態での渦の統計的な性質を調べる。

(3) 設定を単純化した基本シアー流中で発達する波動の解の様子を記述することによって、上空の擾乱が基本流のシアーから離れた場所でのどのような振る舞いをするのかを調べる。

(4) 大気の大気力学モデルを用いてこのような波

動が上空に存在する状況を設定し、上空の波動が存在するもとで地上付近ではどのような擾乱が発達するのかをシミュレートし、そのメカニズムを解析する。メカニズムの解析の際には、形成された擾乱の線形的な構造をもとに基本場と擾乱との間のエネルギー変換を調べて波動の発達メカニズムを特定するとともに、非線形的なステージについても、異なる種類の擾乱どうしによるエネルギーのやり取りを解析し、最終的に残る擾乱の選択則について考察する。

4. 研究成果

(1) 解析的に取り扱うことが困難な基本場にシアーを持つ流れの中の波動の解析方法をさまざまな角度から工夫を加えて行い、圏界面付近に捕捉された波の「シアー流中の中立波動」としての基本的性質を明らかにした。

① 渦位が一様ではない場合に圏界面に捕捉された波の性質を調べる方法として、基本場の渦位のごく一部だけを一樣になるように変形した基本場を設定し、その中に現れる中立波を解析するという方法を用いて捕捉波の記述を行った。

② シアー流中の波動として解析される中立波の位置づけを明確にするために、弱い熱的な散逸を考慮に入れた場合の中立波モードの性質を調べた。このような小さな散逸を考えると、渦位が一様な場合に通常の中立波に移行するような波は、これまで言われてきたような減衰率が極小になるモードではなく、減衰率が極大になるモードとして同定されることがわかった。これは系に弱い力学的な散逸を導入した場合に減衰率が小さくなるモードにあたり、波のエネルギーの分配の観点から見ると、位置エネルギーより運動エネルギーに多くのエネルギーを含んでいるような波を解析しているということもできる。

③ 上の方法を中間規模東進波の設定に適用し、この波の基本的な性質として、基本場のベータ効果に対する波動伝播の減速の依存性や、圏界面付近の渦位遷移層の厚さに対する波の伝播特性の変化を調べた。得られた性質は、物理的考察から予想される傾向と定性的によく一致していてこの手法の妥当性を支持しており、この種の波の伝播特性に関する定量的な議論をすることが可能となった。

(2) 圏界面付近に捕捉された上層の波動の性質を調べるために、簡単な数値モデルを用いて擾乱の発達・波動の伝播の様子を時間発展を計算し、その振舞いに関する統計的な性質をまとめた。

① 大気対流圏の上層にある偏西風の中で生じる波動の性質を調べるために準地衡系の簡単なモデルの中で波動が発達する様子を数値シミュレーションによって計算し、その発達した波に関する統計的な性質を調べた。偏西風の中で小さな波動が発生して大きく発達する過程がうまくシミュレートされ、波が十分発達した段階において、流れの渦の混合の様子は統計的に理論から期待される分布にほぼ従っており、この統計理論が実際の波動の発達の様子をうまく表す妥当なものであることが示された。

② 一方で、渦位がこれまでの統計理論では想定されていなかったような分布に従う領域も一部に見られた。これは、初期状態においてシアーの大きな領域からどの範囲まで渦の混合が進んでいくのかという問題と対応している。渦の混合が及んで波動が発達する範囲が限定されているため、発達した波動の状態を記述するためには混合の影響がどの程度の範囲まで及ぶかという見積もりが重要になることがわかった。

(3) 圏界面付近の上層の波動の性質に関して、擾乱が発達する領域から遠く離れた場所での波動の振舞いを線形解の範囲で調べ、擾乱の発達の影響範囲の見積もりを行った。

① シアーが大きくて擾乱が発達する領域から離れた場所での波の振舞いに注目して、一定のシアーと渦位変化率を持つ簡単な基本流を設定し、そこに存在する波の解を陽な形で調べることにより、遠方での波の振る舞いを明らかにした。

② 発達した波動の、シアーが存在する範囲から離れた場所での振舞いを記述することによって、渦の混合が及んで波動が発達する範囲が重要になるという(2)の結果に対する見積もりの手がかりを与えた。

(4) 波どうしの相互作用によって生じる擾乱の振舞いを調べるために、対流圏上層に波動擾乱が存在する影響下で下層の地面付近で擾乱の励起が予想されるような状況を設定して、地表面付近の下層の波が発生・発達する過程の数値シミュレーションを行った。特に地面付近で発達する擾乱の持つスケールに注目しながらモデルの計算結果を解析することにより、そのスケール選択のメカニズムを調べた。

① シミュレーションの初期の状態が、微小な擾乱に対してどのような安定性を持っているのかを線形論の範囲で調べた。その結果、大きな成長率を持つモードが複数見つか

このような流れを持つ基本設定では、いくつかのスケールの擾乱が発達しうることがわかった。また、それぞれのモードのエネルギー変換の様子を計算することにより、スケールによって順圧不安定・傾圧不安定などの異なる仕組みで擾乱が生じることが示された。

②大気の下層には、発達率が大きくてスケールの小さな擾乱が本来存在しており、数値積分の初期の段階ではこのような擾乱が発達してスケールの小さな擾乱が支配的になることが見出された。一方、数値積分をさらに続けると、ある程度の時間が経過した後は、上層の波動との相互作用が存在するような大きなスケールの擾乱が発達してくることが示された。

③擾乱が形成される初期においてはスケールの小さな擾乱が発達しても、徐々に大きなスケールが目立つようになる過程を詳細に見るために、波と波との非線形相互作用によるエネルギーの流れを調べたところ、下層の擾乱の中での非線形相互作用により二次元乱流的なエネルギーの上方カスケードが起こることによって大きなスケールの擾乱が発達していることが示された。このスケールの擾乱の発生には上空の擾乱も関与しており立体的な擾乱配置が重要となるものの、擾乱の発達段階におけるスケール選択のメカニズムにおいては、地面付近での相互作用が重要な役割を果たしていることがわかった。

本研究は、主に地球流体力学的な立場に立った基礎的な結果が多かったため、国内外で行われているさまざまな大気・海洋中の波動現象の解析に応用することが可能であり、今後はそのような適用を増やしていくことが課題となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Iga K.: Statistical theory applied to a vortex street generated from meander of a jet, *Theor. Compt. Fluid Dyn.*, 査読有, Vol.24, 2010, pp.283-289

[学会発表] (計 10 件)

- ① 伊賀啓太: 一様シア・渦位勾配を持つ流れの中立波, 九州大学応用力学研究所研究集会, 2009年12月22日, 春日
- ② 伊賀啓太: シア一流中の中立波—遠方にある波の振る舞い—, 日本気象学会2009年秋季大会, 2009年11月25日, 福岡

- ③ Iga K.: Statistical theory applied to a vortex street generated from meander of a jet, IUTAM Symposium "150 Year of Vortex Dynamics", 2008年10月15日, Lyngby (Denmark)

- ④ 前島康光・伊賀啓太: メソスケール擾乱発達期における成分波間の非線形相互作用の役割, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月27日, 千葉,

- ⑤ 前島康光・伊賀啓太: 前線不安定によるメソスケール擾乱の非線形発展・成分波間の相互作用について, 日本気象学会2008年春季大会, 2008年5月18日, 横浜

- ⑥ 前島康光・伊賀啓太: 前線不安定による大気メソスケール擾乱の非線形発展, 九州大学応用力学研究所研究集会, 2008年3月3日, 春日

- ⑦ 伊賀啓太: 弱いニュートン冷却を考慮した中間規模東進波, 日本気象学会2007年秋季大会, 2007年10月15日, 札幌

- ⑧ Maejima Y. and Iga K.: The contribution of the instabilities to vortex disturbances along the Convergent Cloud Band, International Union of Geodesy and Geophysics XXIV General Assembly, 2007年7月12日, Perugia (Italy)

- ⑨ 前島康光・伊賀啓太: 帯状収束雲に伴う渦状擾乱の非線形発展過程について, 日本地球惑星科学連合2007年大会, 2007年5月24日, 千葉

- ⑩ 前島康光・伊賀啓太: 帯状収束雲上に見られる渦状擾乱非線形発展—線形安定論における不安定モードとの対応—, 日本気象学会2007年春季大会, 2007年5月14日, 東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊賀 啓太 (IGA KEITA)
東京大学・海洋研究所・准教授
研究者番号: 60292059

(2) 研究分担者

新野 宏 (NIINO HIROSHI)
東京大学・海洋研究所・教授
研究者番号: 90272525
(H20→H21: 連携研究者)