

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23654167

研究課題名(和文) 海洋で不規則な渦から秩序ある平均流が発生してくる仕組みの包括的研究

研究課題名(英文) Spontaneous generation of organized current from random eddies in the ocean

研究代表者

増田 章 (Masuda, Akira)

九州大学・応用力学研究所・学術研究員

研究者番号：60091401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：不規則渦群から秩序ある平均流が自発する。海ではよくあるが仕組みは謎である。本研究では(1) 面上の縞状東西流(ラインズ効果)、(2)再循環流、(3)海神効果、(4)傾圧不安定に起因する 面上の東西流、(5)絶対渦度零の平均剪断流という個別課題につき、数値実験を行い力学を考察して特筆すべき成果をいくつか得た。また通底する仕組みを求めると、(1)非線形三波相互作用、(2)ロスビー波の分散関係、(3)惑星性・地形性 効果、(4)ロスビー波の運動量・渦位再分配機能、(5)限界安定性といった鍵となる概念の果たす役割と重要性を明らかにするとともに、今後解明すべき課題とその展望を得た。

研究成果の概要(英文)：A riddle in physical oceanography has been why and how organized currents are generated spontaneously from random eddies in the ocean. In this study, by numerical experiment and dynamic investigation, we have attained several remarkable achievements for (1) Rhines effects, (2) recirculation in the Kuroshio Extension, (3) Neptune effects, (4) baroclinic-instability induced zonal current on a beta plane, (5) mean current with shear of zero absolute vorticity. As for common mechanisms underlying those phenomena, we have revealed important roles of such concepts as (1) nonlinear interaction of three wavenumber components, (2) dispersion relation of Rossby waves, (3) planetary and topographic beta effects, (4) redistribution of momentum and vorticity by Rossby waves, and (5) marginal stability. These results suggest future subjects to be studied and prospective approaches to be explored.

研究分野：4402

科研費の分科・細目：気象・海洋・陸水

キーワード：不規則渦群から自発する組織構造 縞状東西流 再循環流 傾圧不安定 絶対渦度零の平均剪断流 ロスビー波 三波相互作用 運動量・渦度の再分配

## 1. 研究開始当初の背景

(1)全体概要: 自転と密度成層を特徴とする大気や海を地球流体と呼ぶ。地球流体では、不規則な渦や波がかえって秩序だった平均流を形成することがよくある。本課題研究の出発点となったのは次の三現象である。

縞状東西流(Rhines 効果): 面準地衡自由減衰乱流では等方スペクトルから出発しても次第に渦径が増し東西流が卓越してくる。終には東向流と西向流が交互に南北に並んだ縞状の流れに落ち着く。その南北幅は乱流の強さと効果の強さで決まるといふ。木星の縞模様はその例と考えられてきた。

再循環と渦成循環: 西岸境界流の不安定によって中規模擾乱が発生する。その擾乱により大規模な平均流が形成される。実際、変動する黒潮統流や湾流の側面には、主流と逆向きの流れ、即ち再循環流(反流)が存在する。深層には変動する渦の駆動する大規模「渦成循環」もあるといわれている。なお、渦成循環なる用語は広い意味で「不規則な渦から自発する平均流」を指すと考えてもよい。

絶対渦度零の平均剪断流: 一様密度流体の水路乱流では軸対称な平均流になる。この水路を回転台に載せると一様剪断流の領域が水路中に現れる。剪断流の持つ渦度は回転系の渦度と相殺し、その二つの和(即ち絶対渦度)が零になる平均流が実現する。

いずれも 1970 年代から知られていた。それぞれ、例えば Rhines 1975, Okuno and Masuda 2003; Holland 1978, Mizuta 2009; Johnston et al. 1972, Yanase et al. 2003 といった先行研究がある。ちなみに渦だらけという海洋像が確立したのも 1970 年代である。

(2)個別主題各論: 以下(目的, 方法, 成果の項でも同様だが)顕著な成果を得た二つの主題を柱に記す。その他の現象と関連事項は簡単に触れるにとどめる。

縞状東西流: 木星や大気と違い海には無いと思われていたのに、海にも波長 500 km 程の縞状東西流が遍在する「らしい」と言われはじめた(大循環密格子数値実験や衛星観測 Nakano and Hasumi; Maximenko et al 2005)。この縞状東西流は真下に深層まで及ぶらしい。但し深層ではやや遅い。順圧流に基づく従来の議論では説明できない。なお密度成層のある傾圧海洋については Rhines 効果に関する知見が殆ど無い。本研究代表らは以前に「密度成層に伴う強い水平発散効果が縞状東西流の発現を抑制する」ことを見出しその仕組みを明らかにした(Okuno and Masuda 2003)。注意すべきは順圧ですら Rhines 効果がよく分かっていないことである。定義からして曖昧である。数値実験で縞状東西流が卓越してくることは現象として「知られて」はいたが、力学が「分かって」

いたわけではない。先に述べた Okuno and Masuda にしても 効果で東西流が卓越してくるといふ抑もの現象の仕組みは説明できていない。

再循環と渦成循環: 西岸境界流付近では、1)平均流の順圧・傾圧不安定による擾乱発生、2)擾乱間の非線形相互作用、3)擾乱による平均流形成といった複数の過程が混在している。再循環流形成には不規則な渦の乱流混合作用により渦位(惑星渦度と相対渦度の和)が一様化することが重要とする考え方[渦位一様化説]がある(Rhines and Holland 1979, Rhines and Young 1982)。但しその根拠には不明な点が多い。他方、海盆中央の狭い領域に振動外力を加えてロスビー波を発生させ続けると再循環に似た流れができるとする数値実験もある[二次流説] (Haivdvoel and Rhines 1983 の順圧準地衡模型)。この順圧実験では北向きの渦位輸送が生じていたが、密度成層のある三次元数値実験では再循環域の深層に南向き渦位輸送があった。渦位輸送の向きが深層で違う理由はよく分からない。

そのほか: 絶対渦度零の平均剪断流が形成されるとき、剪断流の方向に傾いた縦渦管群ができていることを示す直接数値実験がある。しかし仕組みは分からない。また大規模な海底地形がある場合、地形性ロスビー波の伝播する向きへ向かう平均流を、乱雑渦群が作り出すとされている(海神効果)が、これも謎である。実験がくりかえされてきたものの理解が進まない。先行研究は多いが解決にはほど遠い。そんな現象ばかりである。

## 2. 研究の目的

(1)全体概要: 前記の背景で挙げた諸現象の背後には運動量・渦度を集積・分配する仕組みがある筈である。そして、その仕組みには地球流体特有の波や不安定運動が関係している筈である。従って物理空間・波数空間における運動量・渦度(位)の集積・散逸過程を地球流体の力学諸原理から明らかにしなければならぬ。なお本課題にいう二つの主要個別主題で最も重要な力学要因は 効果と、効果に付随するロスビー波である。但し絶対渦度零の平均剪断流の形成にロスビー波は関係しない。その意味でやや異質である。

本課題では鍵となる概念・仮説を吟味・提出し、数値実験と理論解析により検討・検証する。その成果を基に「不規則な渦・波が平均流を形成する仕組み」を個別的かつ包括的に解明していくことを目的とする。

### (2) 個別主題各論:

縞状東西流: 東西・南北方向に周期的境界条件の面という単純な状況で、順圧・傾圧の平坦海洋準地衡自由減衰乱流(といっても CHM 系[後述]に限定する)の時間発展を吟味する。初期条件は渦径の小さい渦群であ

る．とくに初期発展期から最終準定常状態までの一次元・二次元波数スペクトルを明らかにすることが目的である．同時に，初期応答や最終状態への遷移過程で生じる運動量・エネルギー・渦度輸送を数値実験で調べる．その際，波数空間における相互作用の性質，非線形伝達の性質(力学)が重要になる．

本課題では主として最も単純な東西南北に周期的自由減衰乱流を扱うが，応用上重要な設定として，東西に周期的な水路で傾圧不安定な初期場を考える．こうして発生する渦群から縞状東西流が自発するかどうかを吟味する．この設定は，南極周極流を論じる際あるいは地球大気大循環風と比較する上で重要である．

再循環と渦成循環: 渦位一様化のためとする先行研究が多いが，ここではロスビー波を介して二次流れが励起されるという仕組みを提唱し吟味する．すなわち「渦位一様化」説と「二次流」説を併行して検討する．

まず，Haidvogel and Rhines (1983)の実験設定を順圧から連続成層に拡張する．一般に風成循環に伴う中規模擾乱は表層ほど強い(観測，数値実験とも)．これを模すように表層に振動外力を加えた数値実験を行う．次に，こうして発生するロスビー波が深層に引き起こす渦位輸送の様子と，これに伴って生じる深層平均流を調べる．外力振幅に対する依存性も調べるが，再循環の南北幅を決める上で重要な南北渦位輸送の南北幅と符号に焦点を当てる．さらに，その数値実験結果を説明すべき弱非線形力学を考察する．結果的には，線形ロスビー波による考え方が十分有用なことが示される．面上で東向する噴流が不安定になり，ロスビー波を周囲に放射しつつ再循環流と同様の定常流を，表層でも深層でも生み出すことが分かったからである．

そのほか: 乱渦が組織構造(平均場)を形成・維持する時，その平均場は安定と不安定の境界，即ち，限界中立状態(marginally stable state)にあるだろうとする．この考えを本課題では「限界中立状態」説と呼ぶ．例えば東西縞状流と再循環流の両方に共通する「渦位一様化」状態は限界中立状態の一つとみなせる．但し最も分かり易い例は絶対渦度零の平均剪断流であろう．この主題につき限界中立状態説の妥当性・有効性を吟味する．また，地形性と惑星性の違いはあるものの，ロスビー波の働きが鍵となる海神効果と縞状東西流形成問題の異同を明らかにすることも目的である．

### 3. 研究の方法

(1) 全体運営: 研究集会の形で進める．個別主題には役割分担を一応想定するが固定はしない．手法・主題とも柔軟に展開する．当初回転水槽実験も予定していたが経費等を勘案し数値実験と理論(力学考察)のみとした．

まず分担者各自で個別主題の研究を進め，その成果・途中経過を研究会に持ち寄る．

全員で，その時点で各主題の成果・難点を確認・議論し，その結果を踏まえて，次の展開を示唆・提案して以後の研究を進める．

以上を年度ごとに行い最終年度に問題点を含む研究成果をとりまとめ発表する．総括集会では以後の方向性・発展も企図する．

(2) 方法論: 極力単純化した設定で検討した後に，現実の数値模型実験(大循環模型)で確認する．仕組みに関する仮説・概念という切り込み口から問題に迫る．その仮説を理論解析と数値実験を通じて検証する．実験を踏まえて仮説を改訂し進化させる．

「不規則な渦・波が組織的平均流を形成する仕組み」という統一観念，関連諸主題を含む包括した視点から個別課題について成果をあげ，また今後追求すべき課題を掘り起こす．

(3) 個別主題各論:

縞状東西流: 水平発散効果を入れると時間発展が緩やかになる．こうして遷移過程を見やすくした面準地衡乱流の数値実験により東西帯状流の形成過程を調べる．実空間上で東向運動量・渦度が集積していく過程，および波数空間でエネルギーの赤方輸送が北向き波数で止まる過程を明らかにする．最終的に落ち着く二次元波数スペクトル形(あるとすれば)を明らかにする．

[1]基礎方程式と設定: 面上の平坦な順圧海洋の準地衡渦度方程式を考える．水平方向には周期境界条件を課す．純粋順圧系の結果だけで解釈すると間違っているので，密度成層のある系でも成り立つような一般性のある議論を可能にする必要がある．そのため水平発散を考慮した単層の準地衡系，即ち CHM-系(Charney-Hasegawa-Mima 系)を対象とする．水平発散が大きいと時間発展が緩やかになる．これには利点もあるが困難も生じるので下記[2]にある工夫を加える．

[2]数値実験:  $512 \times 512$  と比較的高い分解能とする．コリオリ係数の値は様々である．無次元で 100 を中心に狭い幅の等方性スペクトルを初期値として与える．その自乗平均速度も様々である．Rhines 波数の値は様々になる．外力項はなく自由減衰とする．水平発散は考慮しつつも扱う層は一つであり，最も単純な設定になっている．

スペクトル法で時間積分する．その際，通常の数値実験で使わない次の三処理を施す．

1) 時刻の一刻み毎に調整して，運動エネルギーが時間とともに変化しないようにする．位置エネルギーを加えた総エネルギーはゆっくり増加するので，擬似自由減衰である．この方式の意味については Okuno and Masuda を参照．2) 閾値を設け高波数成分の振幅を強制的に 0 に落とす．こうして alias を防ぐとともに，高波数へエンストロフィーが輸送されて失われるようにしてい

る .3) 粘性を 0 にしている(運動エネルギーを保存する 2) の調節が前提) .人為的だが、この処理を施してもスペクトル発展には殆ど違いがなかった .

[3]力学: 波数空間における振幅方程式に基づき力学を考察する .エネルギー・エンストロフィー保存ほかの力学を論じる基礎を定式化する .ロスビー波の三波・四波共鳴条件はここから導く .また遮蔽波数域におけるスペクトル発展について新たな観点を導く .

#### 再循環と渦成循環:

[1]はじめに 3 次元プリミティブ方程式系に基づく模型 ROMS (Shchepetkin and McWilliams, 2005)を用いた数値実験を行った . 平面上の矩形海盆で、表層付近の狭い領域に振動する外力を与えてロスビー波を発生させるという設定である .

[2] 解析的な手法によって、1) 振動する外力に対するロスビー波の応答、2) そのロスビー波による渦位輸送、3) その渦位南北輸送の収束・発散から生じる平均東西流を求める . まず基本として、順圧海洋で時間・東西方向に周期的に振動する外力を与えた場合を考え、渦位輸送の南北成分の分布を決定する要因を厳密に議論する . その後、外力が東西に非周期的な場合や 2 層海洋に拡張する .

[3]最後に数値モデルを用いて流入流出によって実際に不安定なジェットを起こさせる . このときに生じている再循環域内外の擾乱の特性について簡単な解析を行う .

そのほか: 絶対渦度零の平均剪断流が現れる仕組みについては、回転流体と密度成層流体との類似性を基にした仮説を正確に定式化する . 内部加熱を伴う熱対流と類比し、後者の密度成層系の挙動を調べ、その仮説を吟味する . 中立密度成層が最終状態を表すかという問題設定になる . 海神効果についてはと同様の数値実験(海底地形を考慮する以外同じ数値モデルで済む)を行う . 通常の縞状東西流形成との異同を現象面と仕組みから検討する .

#### 4 . 研究成果

(1)全体概要: 本研究では(1) 面上の縞状東西流(ラインズ効果)、(2)再循環流、(3)海神効果、(4) 面水路で傾圧不安定に起因する東西流、(5)絶対渦度零の平均剪断流という個別課題につき、単純化した設定で数値実験を行いその力学を考察した . 難しい課題にも拘わらず望外に良い成果を得たと思う . また萌芽研究後の展望も視野に入ってきた . 代表(者)は定年だが分担者によって本課題の更なる発展が期待できる .

#### (2)個別主題各論

縞状東西流: 既往見解を吟味・批判し実験・考察に基づく説明を提出した . 例えば最終的な東西流の南北幅やスペクトルが初期

状態や発展段階に依存することを示した . また、強い相互作用のない「遮蔽波数域」で起こるスペクトルの初期発展を弱非線形力学モデルで解明した . 更に、東西流が卓越してくる仕組みの一つを基礎方程式から明らかにした . 振幅方程式に基づく観方が、遮蔽波数域の形や存在理由につき新たな示唆と結論を与えた意義も大きい .

[1] 力学考察: 重要な知見のみ箇条書き風に記す . 準地衡の振幅方程式に基づいて導かれる結論である .1) 三波数の間で三波数相互作用(共鳴とは限らない)が起こる . 非粘性なら三波数相互作用(共鳴に限らない)はエネルギーとエンストロフィーを保存する . (これは従来からの知見) .2) 三つの波数があるとき、内側波数と言えは波数の絶対値で並べた時、中間に位置する波数を指すことにする . 外側波数の意味も同様である . さて、三波だけの相互作用なら、エネルギーとエンストロフィーは内側波数成分から外側波数成分の対へ、またはその逆に輸送される . この二つ以外に .3) スペクトルが広がるような自然な三波相互作用ではその三波のエネルギー重心波数が低波数側へ、エンストロフィー重心波数が高波数側へ移る . この場合、エネルギー・エンストロフィーは内側波数成分から外側波数成分対に流れる .4) 一般の三波数相互作用でなく、ロスビー波三波共鳴相互作用に限定すれば、波数東西成分の絶対値が最大の波数は常に内側波数になる . これは水平発散がある場合でも正しい(更なる拡張も) .5) 東西流が卓越する理由、一つの仕組みが、前記 2)-4) から導かれる . まず時間発展とともに渦径が増す . そうなると非線形性が弱まりロスビー波三波共鳴が重要になる . この共鳴では、南北流の大きい波数が内側波数となり、外側波数対にエネルギーを渡す . その外側波数では南北流が小さい(波数東西成分の絶対値が小さい) . 即ち東西流が卓越してくる .

[2] 数値実験の結果(実験結果つまり殆ど経験論): 1) 面では三波数相互作用が働き(共鳴は関係しない)、時刻とともに渦の規模が増大する . ピーク波数より高波数側では -3 ~ -4 の勾配をもつ 1D スペクトルを維持し、等方性 2D スペクトルが実現する . (従来知見を確認) .2) 面では、時間経過とともに、北向き波数軸付近にエネルギーが集中し、東西流が卓越してくる . 時間発展は遅い . ピーク波数より高波数側では -5 乗形とよく言われるが、必ずしもそうではなかった . 発展段階にも初期条件にも依存する . 初期運動エネルギーと のみで決まる特定の平衡スペクトルはなかった . 面上の自由減衰乱流について従来なされてきた議論と結論の多くは吟味を要する .3) Rhines 波数を「乱流相から波動相への遷移を表す閾値」と意味づけることが多い . Vallis の二次元波数遮蔽域は Rhines (遮蔽)波数の二次元版であり、乱流特性速度で決まるとなっている . いずれも次元の摺合わせ以上に出るものでなく、起こって

いる現象との関係が曖昧で力学上の根拠がない。実際には、エネルギー密度の小さい低い遮蔽域相当部分(波数平面原点の東西波数軸付近)が初期段階から明瞭に現れている。それは初期エネルギーの大きさ如何に依らず、また渦径増大の及ぶ以前から見える。4) 波数平面遮蔽域相当部分のエネルギーが小さく抑えられ南北波数軸付近のエネルギーが増大していく理由は、とくにその初期段階の仕組みはロスビー波の弱非線形三波数相互作用の力学から明らかになる。

[3]付記: 途中経過であり確認・検討を要する。ここでは面二重周期領域の自由減衰に限って述べたが、実際の大循環は強制乱流である。また南北に領域が区切られていることも多い。その意味で東西に周期的な水路で傾圧不安定から生じる東西流を検討する必要がある。自由減衰系と強制系における遷移・調節過程の異同や、側壁の影響、小さな不規則海底地形・斜面の効果(海神効果)を調べることも必要であろう。なお、自由減衰準地衡乱流で縞状東西流に落ち着く現象は、無風域に入った風波スペクトル(うねり)の時間発展に似た側面がある。

再循環と渦成循環: 不規則渦によらずとも規則的な振動する擾乱源があれば主流側面に反流が現れる(表層・深層とも)理由を明らかにした。その仕組みには効果とロスビー波が深く関与する(縞状東西流でも同様である。海神効果では地形性ロスビー波の性質が重要になる)。この結果は「二次流」説を支持・強化するものであり、「渦位一様化」説(乱流混合説)には疑問を投じている。

[1]振動外力数値実験: 振動外力を与えた表層には、外力の強さに依らず北向き渦位輸送があり、再循環と同じ向きの平均流が現れた。他方、深層には、外力が弱いと渦位輸送南北成分が殆ど現れず、従って目立つほどの深層平均流ができない。しかし外力が強いと南向き渦位輸送が生まれ、その結果、表層平均流の2割程度の強さに達する深層平均流([3]の数値実験に見える再循環と同じ構造)が現れる。その理由は次のようである。

渦位南北輸送を担う擾乱には、外力と同じ周期の運動と1/2の周期の運動が見られる。それぞれ基調振動と倍調振動に対応する。一般に、外力が弱ければ倍調振動は弱い。基調振動だけでは深層に渦位輸送南北成分を生じない(後述[2])ので平均流も殆どできない。外力が強くなって現れる顕著な倍調振動は3波共鳴で増幅されるロスビー波である。この倍調振動が深層に南向き渦位輸送を生む(後述[2])。この特性は外力が強くなっても変わらない。この結果は、南向き渦位輸送と再循環形成の原因として Rhines and Young (1982) の想定した渦位乱流混合(渦位一様化説)が本質でないことを強く示唆する。

[2]振動外力解析解: 渦位南北輸送の収束・発散が東西平均流を形成する。そこで、

特定周期の振動外力が励起するロスビー波と励起される波が生み出す渦位南北輸送東西平均の南北分布を調べた。外力が東西方向に周期的な場合から始める。一般に、波による渦位南北輸送は外力が波に仕事をする場合は北向き、反対に波が外力に仕事をする場合は南向きになる。順圧の場合、外力の南北分布によらず次の結論を得る。即ち、外力に応じて発生し南北に伝播するロスビー波の位相は南北に変わる。南北方向に同位相の振動外力を与えると、波の位相に応じて、外力は波にエネルギーを供給しあるいは奪う。こうして渦位南北輸送東西平均の正・負領域が南北方向に交互に生じる。その南北幅は南北に伝播する波の南北波長で決まる。即ち、渦位輸送並びに平均流の南北幅は外力の南北幅に依存せず、有効に励起される擾乱の南北規模とよく対応する。多くの東西波数成分の重ね合わせで表される外力の場合も、東西波数ごとに、渦位南北輸送の東西平均を論じれば同じ結論になる。

次に2層モデルを調べた。前節の数値実験と同様の振動外力を上層のみに与える。このとき下層では倍調振動の波のみが渦位南北輸送を生む。その倍調振動を強制・励起するのは基調振動の積である。この強制力は傾圧性が強く深層で倍調振動波からエネルギーを奪う。従って下層の渦位輸送は南を向く。

[3]再循環数値モデル解析: 東向きジェットが再循環を形成する場合、再循環域の北西・南西側に向けて常に長波長のロスビー波が放射されている。そのロスビー波は周波数に依らずほぼ一定の西向き位相速度を有し、その値は渦位南北勾配がゼロとなる緯度での平均流速値に近かった(実際、再循環域内には渦位南北勾配が僅かに逆転する領域がある)。これは、渦位逆転域で生じる弱い不安定が外側に放射される擾乱のエネルギー源となっていることを示唆する。擾乱ロスビー波が再循環を駆動するだけでなく、再循環の渦位勾配を小さく保つ(限界安定状態を保つ)と解釈される点で興味深い。但しその妥当性は今後十分検討する必要がある。

そのほか: 傾圧不安定については最も単純化し理想化したモデルを提案するとともに、傾圧不安定が面で東西流を発生させることを数値実験で確認した。絶対渦度零の平均剪断流の形成因には限界安定性が効いているらしいことまでしか分からなかった。この概念は再循環流や縞状東西流の仕組みに関係するかもしれないことも付記しておく。このように、通底する仕組みを求めると、(1)非線形三波相互作用、(2)ロスビー波の分散関係、(3)惑星性・地形性効果、(4)ロスビー波の運動量・渦位再分配機能、(5)限界安定性といった鍵となる概念の果たす役割と重要性を明らかにし、今後解明すべき課題とその展望を得た。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 4 件)

水田元太, 振動する外力によって強制されたロスビー波による渦位輸送 基本特性, Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 146, 2014, pp.75-85. 査読無.

Nakano, H., H.Tsujino and K.Sakamoto, Tracer transport in cold-core rings pinched-off from the Kuroshio Extension in an eddy-resolving ocean general circulation model, Journal of Geophysical Research, 118, 2013, pp.5461-5488, DOI:10.1002/jgrc.20375, 査読有.

増田 章, 渦度の時間発展をもたらす仕組み 渦度力の捻り, Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 143, 2012, pp.119-128, 査読無.

A. Masuda, Mechanism of baroclinic instability based on an idealized equation in a simplest situation, Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 142, 2012, pp.35-53, 査読無.

### 〔学会発表〕(計 4 件)

増田 章, 中野英之, CHM 系準地衡乱流で東西流縞模様の発現する仕組み - 初期等方スペクトル -, 2014.03.28, 日本海洋学会春季大会, 東京.

Nakano, H., Effects of the Shatsky Rise on the Kuroshio Extension, 2014.02.26, Ocean Science Meeting 2014, Honolulu, Hawaii, USA.

水田元太, 増田章, 表層に振動を与えた場合の波による深層平均流形成, 2013.3.28, 日本海洋学会春季大会, 東京.

増田章, 傾圧不安定を純化した形で考える 正準方程式, 2012.03.27, 日本海洋学会春季大会, 筑波.

### 〔図書〕(計 0 件)

### 〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

### 〔その他〕 なし

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

増田 章 (MASUDA, Akira)  
九州大学・応用力学研究所・学術研究員  
研究者番号: 60091401

### (2)研究分担者

水田元太 (MIZUTA, Genta)  
北海道大学・大学院地球環境科学研究科  
・助教  
研究者番号: 30301948

平原幹俊 (HIRABARA, Mikitoshi)  
気象庁・気象研究所・海洋研究部  
・主任研究官  
研究者番号: 70354545

中野英之 (NAKANO, Hideyuki)  
気象庁・気象研究所・海洋研究部  
・主任研究官  
研究者番号: 60370334

### (3)連携研究者 なし