HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A conceptual model for a vortex-pair-driven western boundary current extension jet: background flow effects on the extension jet and implementation into the real environment [an abstract of entire text]
Author(s)	大西, 晴夏
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16183号
Issue Date	2024-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94086
Type	doctoral thesis
File Information	ONISHI_Haruka_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 の 要 約

氏 名 大西 晴夏

学 位 論 文 題 名

A conceptual model for a vortex-pair-driven western boundary current extension jet: background flow effects on the extension jet and implementation into the real environment
(渦対強制による西岸境界流続流ジェットの概念モデル：
続流ジェットに対する背景流の効果と現実環境への適用)

過去の研究では、西岸境界流続流ジェットとその再循環流の形成メカニズムは、これまで流入と流出を強制として与える理想化モデルで再現されてきた。そこでは、平均流と擾乱渦の両方が互いにフィードバックをもたらし構造を維持していると考察されていた。また、西岸境界流続流ジェットの一つである黒潮続流は循環境界よりも南の犬吠埼沖付近で離岸することが知られていた。その理由としては地形の影響と考えられてきた歴史があるが、シンプルな矩形の海洋モデルでも、西側境界流のジェットが風成循環の循環境界より南で岸から分離しはじめ東に流れていくことが示された。この早期離岸現象は、正の渦度と負の渦度の対によって引き起こされることが示唆されていた。

そこで本研究では、西側境界流続流ジェットの形成メカニズムとして、準地衡渦位方程式を支配方程式とする西側境界での渦対強制を導入した概念モデルを提案した。この概念モデルは、風駆動の二層準地衡モデルにおける早期離岸ジェットを正確に再現することで、その妥当性を検証した。

まず初めに、渦対強制によって再現されるジェットの物理構造を、従来の流入・流出モデルによって再現されるジェットと比較し、続流ジェットにおける擾乱渦の役割を渦位方程式と擾乱エンストロフィー方程式のバランスに基づいて議論した。ジェット上流域のジェット軸近傍では、南側で正、北側で負の擾乱渦位フラックスの発散が現れた。この擾乱渦位フラックスと釣り合う擾乱エンストロフィーの移流は負になっており、ジェット下流に向けて擾乱エンストロフィーが大きくなっていくこと、不安定により擾乱渦が生成されていくことを示している。その下流では、擾乱エンストロフィーのピークが現れ、そこから更に下流ではその移流が正になっており、釣り合う擾乱渦位フラックスが負になっている。その南北勾配により北側で正、南側で負の擾乱渦位フラックスの発散場が形成される。これは、渦位方程式の釣り合いにより、北側で北向き、南側で南向きの流れを形成していることを示している。よって渦対強制で再現されるジェットの下流域では、擾乱渦の効果が卓越し、ジェット軸から遠ざかり再循環に向かう流れが形成されていることが判明した。

この特徴は流入・流出モデルで再現されるジェットと共通している物理構

造である。しかし、その再循環へと向かう流れの形成は、流入・流出で再現されるジェットでは通常、下流の擾乱渦の効果が卓越する領域が始まるすぐの部分の南北に、流線関数場の極値である循環の中心点が現れているのと比較して、本研究の渦対強制で作られたジェットは上流部の強制付近に循環の中心点ができ、下流部にはそれが現れていないという違いがある。そこでさらに本研究は、再循環ジェットの駆動に対する渦の寄与を示す指標としてR_{eddy}を導入した。R_{eddy}の空間分布を調べると、渦の影響は続流ジェットの上流域では小さく、上流域は強制による渦対の自己移流による侵入が支配的であることが判明した。これは、従来の流入・流出モデルによるジェットには現れなかった特徴である。このように渦対で駆動される続流ジェットは上流域と下流域で主な物理構造が異なることが示された。

大規模な風によって駆動される環境場としての流れと、渦対によって駆動される続流ジェットそのものを独立に扱うことができるという、本渦対強制モデル独自の機能は、大きな発展性があるものである。そこで次にこの特徴をもちいて、背景流がジェットに与える影響を調べた。その結果、東向きの背景流にはジェット構造を比較的維持したまま東に伸ばす効果が見られた。また、背景東向き流速の増加に対して加速度的にジェットは長くなった。一方、南向きの背景流はジェット構造を短くする効果があることが判明した。これらの結果は、理論的に定常の東西一様の解が背景南下流と共存できないことからも示された。また、背景東西流のみが存在する場合にできるような、東向きにまっすぐ伸びるジェットは、背景南下流が押し流してしまい、新たな短い準定常ジェットが形成される様子も観測された。そこで、渦位方程式と擾乱エンストロフィーの式も背景流を含む場合に拡張し、その釣り合いを見てみたところ、背景南下流がある場合にはその構造が上流にシフトし東西に傾いていく様子が表れた。南向きの背景流が強いほど、ジェットはより南北に傾き短くなり、南向き背景流が与えられ始める位置を、上流にしても下流にしても、その位置から急激にジェットが閉じるようになった。特に、背景流の影響は、東西流よりも南北流の方が顕著であり、東西流よりオーダーが小さい南下流でもジェットを短くする効果は十分存在する。これらの結果から、現実の黒潮続流ジェットがある程度の長さを持って存在できるのは、西岸近くではスヴェルドラップ流にほぼ東西成分しか存在しないためであると考えられる。

最後に渦対強制によるジェットの理想化理論から、現実の西側境界流続流ジェットにその理論の結果がどう現れるのかを探る一歩として、渦解像海洋大循環モデル（OFES）データを用いた解析を行った。OFESデータ上で使いやすいように式の形式をアレンジしてR_{eddy}の値を求めた。黒潮続流において、OFESデータにおける渦位方程式の項は、渦対強制による理想化実験と同様、ジェット近傍で擾乱渦位フラックスの発散場が北側で負、南側で正の不安定により擾乱渦を生成していることを示す分布が表れた。しかし、流れに定在蛇行が存在する場合は、その下流では分布が不明瞭になっていた。一方R_{eddy}の値は、使いやすいようにアレンジしたものもしていないものも、ジェットに沿ってその分布の特徴を保ったまま東西に分布した。特にジェット近傍の上

流域では慣性移流が重要であることが示され、下流の黒潮続流の分岐が始まる部分からは渦の効果が重要であることが示された。これは、渦対強制で再現された理想化モデルの特徴とよく一致するものであった。この解析をメキシコ湾流やブラジル海流域など、他の海洋における西側境界流続流ジェットにも行ったところ、黒潮続流と共通の特徴を持ちつつも、海域ごとにその分布に違いがあることがわかった。このことから、R_{eddy}を導入することで、現実の西側境界流続流ジェットの挙動においても実用的で有益な洞察を提供することができたと思われる。黒潮続流では、続流ジェットに伸長期と縮退期があることが知られている。OFESデータの黒潮続流においても、ジェットの強度からこの二つのフェイズに分けられ、他の物理量から伸長期と縮退期の特徴を確認した。ジェットのスナップショットから想定されるように、擾乱渦の影響は縮退期よりも伸長期の方が小さいことが、R_{eddy}の分布から示された。