

Pathways and Effects of the Indonesian Throughflow water in the Indian Ocean : A model study

(インドネシア通過流のインド洋における経路と影響：モデル研究)

学位論文内容の要旨

Indonesian Throughflow (ITF) is a system of currents flowing from the Pacific to the Indian Ocean via Indonesian Straits, with an annual mean volume transport of nearly 10 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). The ITF water is relatively fresh and warm compared to the Indian Ocean waters and this large scale transport is expected to have significant impact on the Indian Ocean climate. While much less is known about the pathways of the ITF within the Indian Ocean, whose understanding is necessary, for finding the impact of the ITF on the Indian Ocean. This research is focused on the detailed three dimensional trajectories of the ITF in the Indian Ocean and to categorize its impact on the Indian Ocean climatology.

The 3-Dimensional pathways of the ITF in the Indian Ocean are identified using an OGCM, with a combined set of tools (1) Lagrangian particle trajectories, (2) passive tracers and (3) active tracers (temperature and salinity). Each of these tools has its own advantages and limitations to represent the water mass pathways. The Lagrangian particles, without horizontal and vertical mixing, suggest that at the entrance region the surface ITF subducts along the northwestern coast of Australia, and then travels across the Indian Ocean along the thermocline depths. The subsurface ITF more directly departs westward and crosses the Indian Ocean. Using the passive tracers, which are mixed vertically under convection as well as horizontally due to diffusion, the ITF is shown to undergo vigorous mixing as soon as it enters the Indian Ocean and modifies its upper T-S characteristics. Thus, the surface and subsurface ITF water masses lose their identities. The ITF partially upwells along the southern Java-Sumatra coast and spreads southwestwards owing to the planetary waves in the Southern Tropical Indian Ocean.

Upon reaching the western boundary, the ITF reroutes into three distinct depth ranges, owing to the seasonal reversal of the Somali region, Route-1: across the Indian Ocean just to the south of the equator (200m-300m), Route-2: across the Indian Ocean to the north of the equator (100m-200m) and Route-3: upwells in the Somali region and spreads all over the surface of the northern Indian Ocean. The seasonality of the Somali Current is crucial to spread the ITF along Route-3 during summer monsoon (Apr-Oct) and Route-2 during winter monsoon (Nov-Mar). The meridional slope of the ITF layer is revealed in the particle trajectories and the passive tracers as well, near the surface in the

north and around the main thermocline in the south of the equator. The basin-wide spreading is responsible for a long residence time of the ITF in the Indian Ocean to be at least 20 years.

The effects of the ITF on the temperature and salinity are mainly accompanied with the major pathways shown by the Lagrangian particles and the passive tracers. These effects are categorized into, direct effects, those related to the direct advection of the ITF, and indirect effects, those related to the modification of basin wide circulation associated with the fresh and warm ITF. The direct effect of the ITF is responsible for a warming ($\sim 3^{\circ}\text{C}$) and freshening (~ 0.2 psu) of the thermocline depths (100 m) along the main stream (10°S to 20°S). However, indirect effects are visible in a few spots: i.e., the warm and saline feature is produced off the southwestern coast of Australia around 30°S caused by the eastward surface current, which is under the thermal wind relationship owing to the warm and fresh ITF component. The same character enhances vertical convection and warms the surface around 40°S . The Arabian Sea High Salinity Water is produced more extensively with the effects of the Somali upwelling, which is originally strengthened by the fresh and warm ITF.

The ITF interacts with the atmosphere at various pockets, namely, the entrance region close to the northwestern coast of Australia, Somali upwelling region, and equatorial Indian Ocean and has influence on the climate. In addition, the ITF modifies the basin wide circulation of the Indian Ocean by affecting the water mass properties. Thus the understanding of 3-D pathways helped us to find the impact of the ITF on the Indian Ocean climate in more detail.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 池 田 元 美

副 査 教 授 久保川 厚

副 査 助教授 三 寺 史 夫 (低温科学研究所)

副 査 助教授 升 本 順 夫 (東京大学大学院理学系
研究科)

学 位 論 文 題 名

Pathways and Effects of the Indonesian Throughflow water in the Indian Ocean : A model study

(インドネシア通過流のインド洋における経路と影響：モデル研究)

太平洋からインド洋に流れ込むインドネシア通過流 (ITF) は10 Svの平均流量を持っており、高温低塩水をインド洋に運んで、気候状態に影響を与えている。ITF水の流路は明確になっておらず、それを理解することはインド洋へのインパクトを知る基本である。本研究ではインド洋中の3次元流跡線を求め、気候状態への影響を記述する。

海洋大循環モデルを用いて3次元流跡線を特定するには、(1)ラグランジアン粒子追跡、(2)受動トレーサー、(3)能動トレーサー (水温、塩分) を用いる。これらの道具はそれぞれの利点と欠点を持っている。ラグランジアン粒子は水平・鉛直拡散を受けず、表層ITF水が流入口付近からオーストラリア北西岸に沿って沈み込み、そこから温度躍層付近を西に向う流れを表わす。亜表層ITF水は南下せずにインド洋を西進する。拡散によって水平・鉛直に混合する受動トレーサーは、ITF水がインド洋に入るとすぐに混合されることを示す。このようにして、表層ITFと亜表層ITFは独自性を失ってしまう。ITF水は部分的にジャワ・スマトラ沿岸で湧昇し、惑星波として南熱帯インド洋を南西に広がる。

インド洋西端にたどり着くと、ITF水は季節変動するソマリ海流によって3つの異なる深さに分かれる。ルート1は赤道の少し南 (200–300m深)、ルート2は赤道の北 (100–200m)、ルート3はソマリ域で湧昇し北インド洋表層に向う。ソマリ海流の季節変動が、ITF水を夏にはルート3、冬にはルート2と分けるのである。ITF水は北部インド洋で表層近く、赤道ではずっと深く温度躍層あたりに存在している。インド洋全体に広がるために、20年以上も滞在することになる。

ITF水の温度・塩分への影響は、ラグランジアン粒子によって示される流路と整合性がある。これは直接的影響に分類され、一方、間接的影響はITFがインド洋全体の循環を変えるために現れる。直接的影響は主流路 (南緯10–20度) に沿う温度躍層 (100m) の水温を3度上げ、塩分を0.2下げる。間接的影響はいくつかの箇所に見られる。たとえば、オーストラリア南西岸 (南緯30度) の高温高塩部分は、ITF水が作る低密度バンドに伴う地衡流が岸に向うためにできる。また南緯40度では鉛直混合を盛んにして、表層水温をあげる。ソマリ海流を強めて、アラビア海の高塩分水を増やすのも間接的影響である。

以上に述べたように、ITF水はオーストラリア北西岸、ソマリ湧昇域、赤道域の上の大気と相互作用し、気候に影響を与える。さらに、ITF水は水塊構造を変えて、インド洋全体の循環に影響を与える。このように3次元流路を理解すれば、インド洋の気候状態へのインパクトをもっと詳細に見出すことができる。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。