

中國東海及臺灣附近海流之研究

朱祖佑

On Ocean Currents in East China Sea and the Vicinity of Taiwan

Chu Tsu-you

Abstract

Ocean currents have a great influence upon the distribution of water properties in the sea, especially the temperature and salinity, and from the distribution of these properties the main course of the currents can be recognized. In East China Sea the Pacific warm current, Kuroshio and its branches meet with the coastal waters coming from the continent. The water properties of these currents are quite different and boundaries are formed between them. The location and intensity of the boundaries vary according to the amount of water transport and condition of mixing. These phenomena are in turn affected by the prevailing wind, precipitation and river flow and drainage from the continent. Therefore the currents have seasonal variation and fluctuate from year to year. The main flow of Kuroshio runs northward closely along the east coast of Taiwan carrying a great quantity of heat with it. It plays an important role in exchanging energy between the ocean and the atmosphere. The contents of the present study can be divided into two parts: In chapter II, general features of the currents in the whole area have been studied and the conditions in 1960 are specially examined. Chapter III is dealing with the Kuroshio in the area southeast to Taiwan. A study on water mass properties and calculation of relative velocity have been made. Most of the data used in this study are taken from Japanese sources. They are still scant and incomplete. In order to make further investigations of the currents in that area it is necessary to carry out systematic oceanic survey in the future time.

一、緒論

海水之各種性質，如水溫、鹽度、氧氣含量等在海洋中之分佈，受海流之影響甚大，因海流之來源不同，秉性各異。中國東海為太平洋暖流與大陸沿岸水交接之所，情形更為複雜。在兩種性質不同之水流相遇處，水溫與鹽度之水平梯度特大，形成界面，界面之位置及梯度之大小，因海流之強度、流量及混合情形而變，此種情形又受盛行風降水以及河流排水量之影響，各季不同，歷年亦有變化。

黑潮為太平洋之暖流，其主流沿臺灣之東岸北上，進入東海，再轉東北而至日本沿海，其輸送能量之鉅大，可與大西洋之灣流相比擬，故除影響臺灣附近及東海之海況外，對於遠東之氣候及天氣變化，亦有

極大之作用。

研究海流之方法，可分為直接與間接二種，直接法係應用海流計或其他適當之儀器，直接觀測海流之方向與速度，但在海上作定點觀測，困難至多。間接法係應用海水性質之測定，如水溫鹽度氧氣含量等，研究其分佈狀況而加以判斷，或應用流體力學之公式，加以計算而求其相對海流。

本研究係採用間接方法，對於中國東海，除敘述海流之一般狀況外，並以1960年之表面水溫分佈情形，研究海流之分配，界面之位置及季節變化等，對於臺灣附近，係應用過去(1939~1940年)之水溫鹽度觀測紀錄，研究水團之性質，並以力學公式計算相對海流。

吾國對於海洋調查工作，尚未開始。在臺灣近海

，亦僅有前殖產局出版之海洋報告，有一部份資料可資應用。故本研究所用之資料，大部份係採自日本出版之刊物。但所有紀錄，仍極稀少而不完全。將來如作進一步之研究，尚需有系統之海洋觀測。

對於中國東海海流之研究，早於一百年前，L. Shrenck 已發現對馬海流之存在。1887年 Makaroff 曾在東海中部發現冷水存在於兩股暖水之間。和田雄士曾於 1893 年開始應用漂流瓶研究海流，在 1913~1917 年間，曾將大量之漂流瓶拋擲於臺灣與九州之間，此外彼亦會利用表面水溫之觀測，研究海流之變化及分支現象。約在同時丸川久俊研究東海之漁場，會作各水層之水文觀測，並發現沿岸水與黑潮間之界面，約在 $30^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$, $126^{\circ}\sim 127^{\circ}\text{E}$ 之間。其後數年，日本與朝鮮之漁業研究機構，亦會作類似之觀測。

1920~1940 年間，朝鮮、臺灣、九州之漁業試驗所曾在東海舉行多次有系統之海洋調查，但對於全海區之調查研究仍極稀少。在 1932~1940 年間，日本農林部及海道測量局曾在東海區域從事多次海洋調查，獲致極有價值之資料。同時間長崎海洋氣象臺，利用長崎上海間之定期航路，從事表面觀測，明瞭對馬海流與東海冷水團及沿岸水勢力之消長，貢獻極大。自第二次世界大戰以後，長崎海洋氣象臺在與長崎漁業試驗所合作之下，從事東海有系統之海洋調查。並自 1953 年起根據在東海區域航行之船舶報告，及燈臺與沿岸測站之水溫觀測，發佈東海海況旬報，極有實用價值。

關於東海海流研究之文字，其重要者如宇由道隆 (1947~50) 曾分析過去所測之海洋觀測資料，討論海洋狀況至為詳細，彼發現在中國大陸外海，沿岸水之外側，有一暖流之分支北上，至於黃海之冷水，向南流而楔入於暖流之中。松平康男 (1933) 曾根據長崎上海間之定期海洋觀測，及海水分析結果，加以敘述。安井善一 (1932) 曾根據同一資料，研究長崎上海間各種水系之分配狀況及季節變化。宇由道隆 (1941) 根據蒼鷹丸於 1939 年六至七月所作之海洋觀測，研究存在於東海大陸架及大陸斜坡上之各種水團，彼認為在奄美大島西面，有一暖水舌沿大陸斜坡自海谷上升。此水向北流，至大陸架外側之沙堆，與低溫低鹽之沿岸水之間，形成界面。

辻田時美 (1950) 根據 1939 年日本海軍之觀測，特研究冬季硅酸質之分佈，關於東海水團之分佈，贊同宇由之意見。沿大陸斜坡之小海谷，常有黑潮水之上昇流，形成暖水舌突入於冷水中。辻田 (1954) 又認為暖流突入於大陸架而與沿岸水之間形成界面，為

大好漁場所在。宇田與辻田 (1950, 51, 52) 根據 1948~1950 年間長崎海洋氣象臺所作之海洋調查，發現對馬海流中軸之位置，在東西方向之移動約有 20~30 處。

菊池繁雄 (1958) 就 1953 年以來東海之水溫觀測紀錄，研究水溫之平均分佈狀況，季節變化，以及各水系之分配狀況與界面位置之變動等。加藤武夫 (1959, 1960) 曾研究冬夏兩季東海之海況，敘述近年來黃海冷水團，黑潮與對馬海流之消長情形，以及流軸位置與流速之變動等，可作為預報海況之參考。

二、中國東海海流之一般狀況

1. 東海之海流系統

在東海之海流系統，可分為暖流系與冷流系兩種，暖流系以黑潮為主，其支流則為對馬海流，此外尚有若干小的分支。冷流系則有黃海冷水及沿岸水兩種，茲分別說明於下：

(1) 黑潮 沿臺灣東岸經臺灣與石垣島之間流入東海，逐漸轉向東北，在琉球群島之北，沿大陸斜坡，經九州與奄美大島間之 Takala 海峽，流至日本沿海。

黑潮為北太平洋之暖流，與大西洋之灣流相當，惟鹽度較低，約在 35‰ 左右，溫度亦較灣流為低，因受冬季自大陸吹出冷風之影響。

(2) 對馬海流 在九州外海，黑潮有一向北之分支，大部分經對馬海峽而流入日本海，稱對馬海流，一小部分經濟州島之南面，流向西北而入黃海。與黃海冷水之間形成界面。

(3) 黃海冷水 此水來源於渤海灣，沿黃海中部南下，經 Socotra Rock 及 Barren Rock 之間流向東南而入東海之大陸架區域。約在北緯 31° 及東經 125° 位置分成二支，一支突入於奄美大島西北之大陸斜坡，約在クチミノセ附近，形成一冷水舌，引起一輕度之急降現象 (Cascading)，另一支向南流，楔入於暖流之間，其尖端到達大陸斜坡魚釣島之東北，引起大規模之急降現象。在魚釣島之東， $124^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$ 之間，黑潮在 150~200 米層，有一急降之冷水中心，溫度為 $14^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。

黃海冷水之消長，受大陸排水，冬季渤海沿岸之結冰情形及季風強弱之影響。

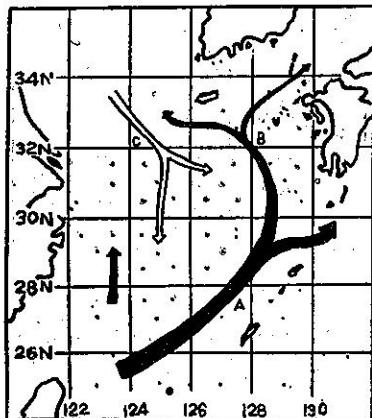
(4) 沿岸水 東海之沿岸水，主要來自長江之排水，故於雨季以後，影響較大，其消長情形，與大陸之雨量有密切之關係。此外自韓國南部及濟州島，亦有

一部份陸地之排水，成為東海之沿岸水。

2. 界面之位置及季節變化

東海各海流之一般分佈狀況，根據菊池繁雄（1958），可以全年平均表面等溫線表示之，如第1圖及第2圖所示。其向東北突出最大之等溫線，相當於黑潮之流軸，平均溫度為 $24^{\circ}\sim 29^{\circ}\text{C}$ 。在九州西面向北突出之等溫線，相當於對馬海流，流速較黑潮為小，年平均溫度較低，為 $20^{\circ}\sim 24^{\circ}\text{C}$ ，黃海水之位置，約在北緯 30° 與東經 126° 之東，年平均溫度為 $16^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，較黑潮低 $6^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，較對馬海流低 5°C 。其流速甚小，但自其

第1圖 東海海流分佈

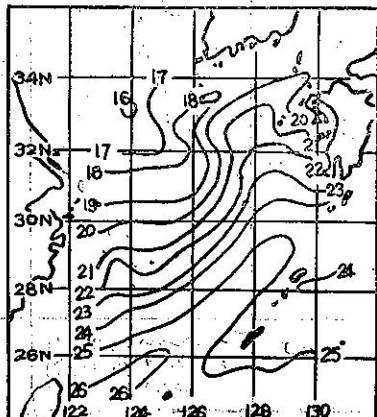


A : 黑潮

B : 對馬海流

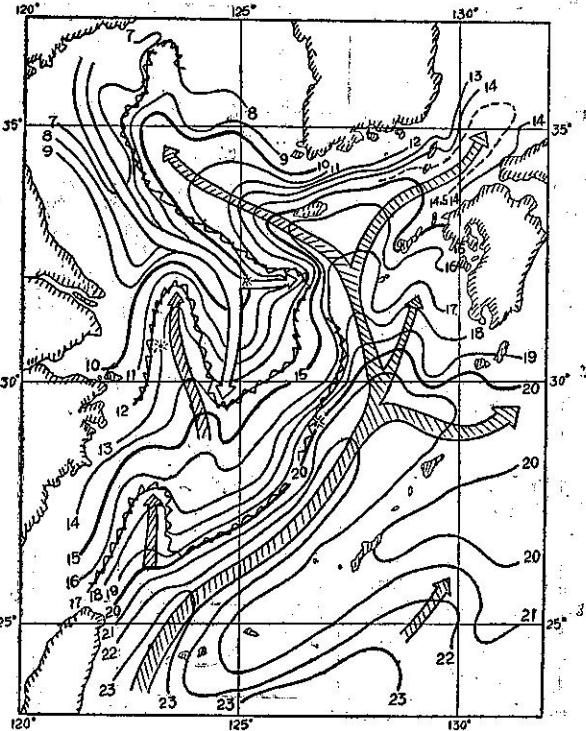
C : 黃海冷水

第2圖 東海表面年平均水溫



1953-1957年平均 ($^{\circ}\text{C}$)

第3圖 一九六〇年二月中旬東海表面水溫分佈



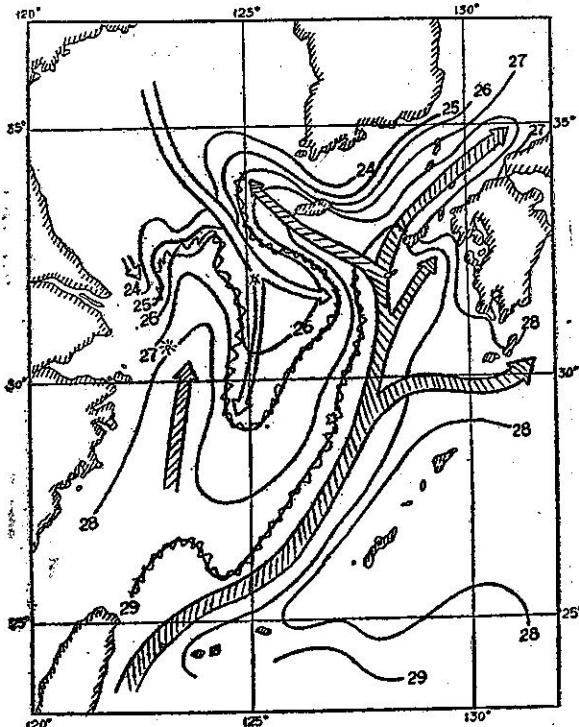
向暖流突出之情形觀之，極易辨識冷水之核心。暖流與冷水間之界面，有向冷水包圍之形狀，其位置大致相當於大陸架之外緣，海底深度約為150米，兩種水系中間之水溫，約為 $20^{\circ}\sim 23^{\circ}\text{C}$ 。

界面之位置，隨季節而移動，第3圖為1960年二月中旬之表面等溫線圖，略可見冬季之型式，在長江口外東經 $123^{\circ}\sim 124^{\circ}$ 之間，有一小分支向北流，其尖端約達北緯 32° 。黃海冷水流至東海，分成二支，一支向南，與黑潮主流之間，形成界面，成西南～東北向，其最南之位置可至北緯 27° 左右。一支向東，與對馬海流之間，形成界面，其位置約在 33°N , 125°E ～ 30°N , 127°E 。全年變動不大。濟州島之南，一對馬海流之分支，流向西北，與黃海冷水之間，亦形成界面。

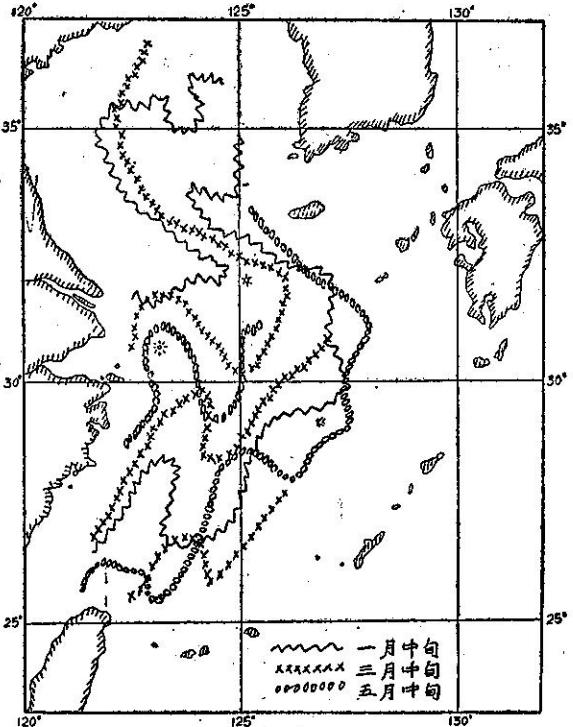
此時黑潮主流之溫度，約在 $23^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之間，其分支及對馬海流之溫度，愈向北愈低，係受優勢冬季風之冷卻所致。黃海冷水之溫度，則向南遞增，約自 $7^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 。其與黑潮之間，形成兩道界面，其中間地帶為變遷區域，水由雙方混合而成。界於兩種水系間之水溫，約為 $20^{\circ}\sim 14^{\circ}\text{C}$ 。

第4圖為1960年8月中旬之表面等溫線圖，略可見夏季之型式，此時日射量全部增強，風向轉變氣溫普

第4圖 一九六〇年八月中旬東海表面水溫分佈



第5圖 一九六〇年一、三、五月界面位置



遍增加，故南北水溫差甚小，等溫線稀疏。惟大陸在雨季之後，中國沿岸水增多，黃海冷水之範圍亦較擴展。惟與暖流間之溫度差不大，界面可以鹽度加以區別，大致言之，其位置似全部偏向東南，黑潮主流之溫度約為 29°C ，黃海冷水則在 $24^{\circ}\sim 27^{\circ}$ 間。其變遷區域之溫度，在 $29^{\circ}\sim 27^{\circ}$ 之間。

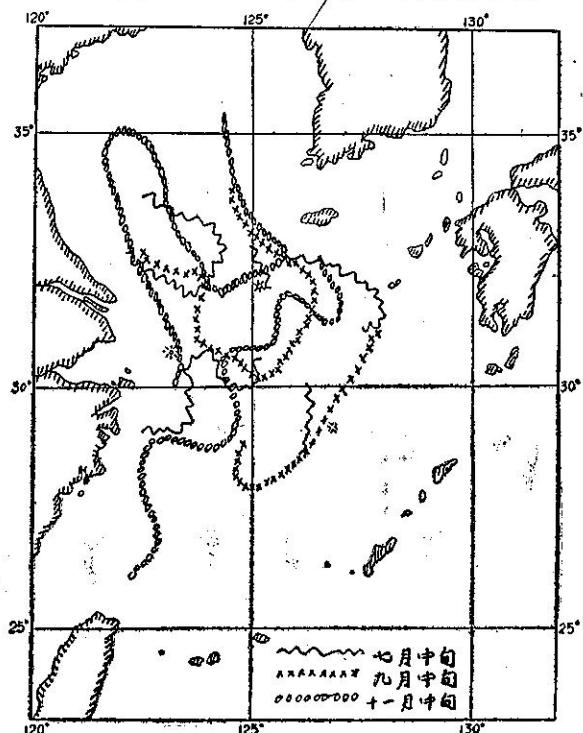
界面位置之移動，與變遷區域之廣狹，與兩種水流間之溫度差，混合作用以及流速流量之變更等有關。冬季黃海與東海有優勢之偏北風，氣候寒冷，表面水溫低降，因此黃海冷水發達，界面有南進之趨勢。夏季東海與黃海多偏南風，但風速不大。因氣候炎熱，表面水溫普遍升高，一般情形，界面略向後退，但南北水溫相差不多，水平梯度甚小，位置不甚明顯，惟夏季大陸多雨，河流之排水量增加，因此黃海冷水與中國沿岸水均甚發達，亦有將界面推向東南之趨勢。

第5圖表示一、三、五月每月中旬界面之位置，第6圖則表示七、九、十一月各月中旬界面之位置。

3. 各水系溫度之年變化

加藤武夫（1959, 1960）曾研究各水系主軸表面水溫之年變化，彼發現黑潮最高值為 $29^{\circ}\sim 29.7^{\circ}\text{C}$ ，約

第6圖 一九六〇年七、九、十一月界面位置

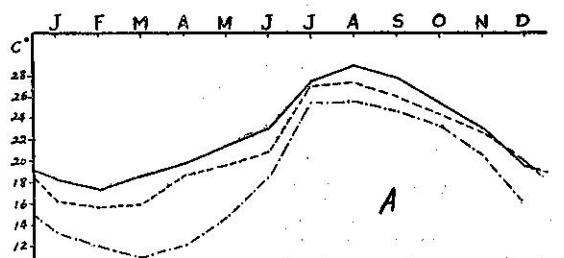


自七月中旬至八月上旬。最低值為 $21^{\circ}\sim 23^{\circ}\text{C}$ ，約自二月中旬至下旬。對馬海流最高值為 $28^{\circ}\sim 29^{\circ}\text{C}$ ，約自八月上旬至中旬。最低值為 $14^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，約自二月中旬至三月中旬。黃海冷水之最高值為 $25^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{C}$ ，約自八月上旬至中旬。最低值為 $9^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{C}$ ，約自三月上旬至中旬。

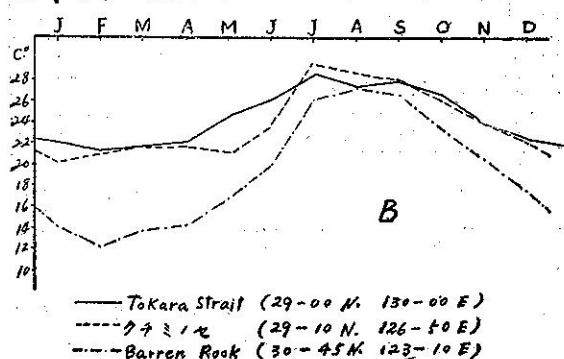
表面水溫之年差，黑潮區域為 $7^{\circ}\sim 9^{\circ}\text{C}$ ，自南向北增加。對馬海流之年差，大於黑潮，為 $9^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{C}$ ，至於黃海冷水則更大，約為 $15^{\circ}\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。在東海中部，有一廣大地區，年差均為 7°C ，相當於變遷區域，年差之大由於兩種水系互為消長所致。

今就1960年，東海中各海洋測站之月平均溫度加以觀察，可見在不同水系內之測站，表面水溫年變化之情形，如第7圖a所示，三測站均在北緯 32° 附近，但其中 Socotra Rock 位於黃海冷水區域內，最低溫度發生於三月，為 11°C ，最高溫度發生於八月，為 25.4°C ，年差達 14.4°C 。男女島位於對馬海流區域內，最低 17.3°C ，發生於二月，最高 28.8°C ，發生於八月，年差為 11.5°C 。カキノセ位於黃海冷水與對馬海流之界面附近，最低 15.8°C ，發生於二月，最高 27.3°C ，發生於八月，年差亦為 11.5°C 。

第7圖b所示，三測站均在北緯 29° 附近，其中

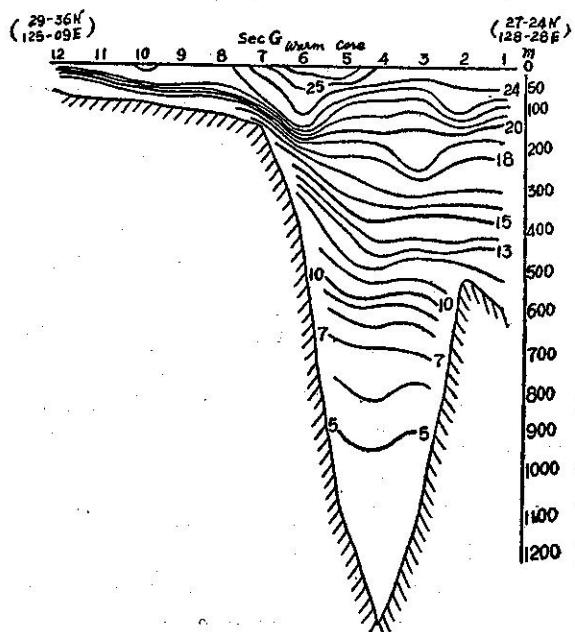


第7圖 東海各測站表面水溫年變化



Takara海峽位於黑潮中軸。最低在二月， 22.7°C ，最高在七月 28.5°C ，年差僅 4.8°C 。クチミノセ位於黃海冷水與黑潮之變遷區域內，最低 20.3°C ，發生於一月。最高 29.4°C ，發生於七月，年差達 9.1°C 。至於 Barren Rock，位置稍北，在中國沿岸水之區域內，二月最低為 12.2°C ，八月最高為 27.3°C ，年差達 15.1°C 。

第8圖 1959年6月28日～6月30日黑潮本流溫度斷面



關於海流區域內，水溫之垂直分佈，如第8圖所示，此圖相當於黑潮之斷面，位於東海大陸架與琉球海嶺之間，暖水核心適在大陸架之外面，中層暖水有向大陸架湧升之現象。

第9圖係通過黃海冷水與對馬海流間界面之斷面，由此可見界面之垂直位置，及冷水與暖水之對立狀況。

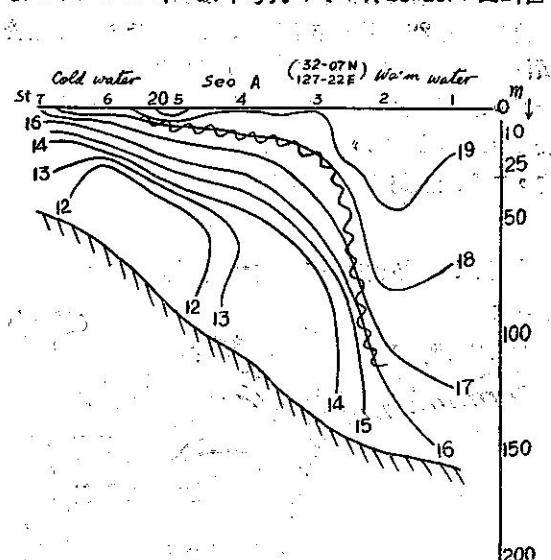
4. 歷年海流之消長

a. 黃海冷水之消長

冷水之規模，受前一年大陸排水之影響最大，其次則受冬季風吹送流之影響。

加藤武夫（1958, 1961）曾指出1954及1957年之雨季，均有大量排水自大陸流出，至第二年黃海冷水頗佔優勢，相反之情形，1958年夏季乾旱，大陸排水量大減，於是黃海冷水局限於一小範圍，其撤退之地區，為黑潮所佔據，因此東海中部，全部成為高溫高鹽之水。

第9圖 1959年5月下旬黃海冷水與暖流間水溫斷面



以表面氯度19‰線位置之變遷，考察冷水之進退，亦可見1958年冷水比較衰弱，暖水前進，而1957年則冷水比較發達。在1958年8月，大部分冷水，佔據大陸架之北部，黑潮之一小分支侵入，而形成高鹽度水。當冬季風發展而使冷水擴張時，冷水區界面南進而恢復1957年之位置，但至次年三月季風衰退時，界面亦向後撤。

在溫度分佈方面，亦可見冷水之消長，自1958年八月至十二月，在大陸架相當於冷水區域之水溫，較常年為高，但自1958年十二月至1959年一月，因季風發達而使冷水擴張，東海中部之溫度驟然冷卻，當三月季風衰退時，冷水區域撤退至1958年八月之位置。

當黃海之冷水衰退時，對馬海流之分支，經過濟州島南面，流入黃海之暖水區域，亦有擴展，水溫升高。

加藤武夫，曾以表面至70米層水溫 15°C 及氯度19‰為界面之條件，考察1952年至1959年冷水界面之位置。夏季冷水區域之表面水，常與次層水成不同方向之流動。但在冬季則上下層成一整個的水團，同向東南方向流動。因此冷水界面與黑潮接觸之位置，約在 $30^{\circ}\text{N}127^{\circ}\text{E}$ 。其變遷區域寬約100公里，至於側面與對馬海流接觸之界面，在東西向之移位約為80公里。

中國沿岸水之消長，影響黃海冷水中軸之位置，當沿岸水衰退時，中軸接近中國大陸，強盛時中軸移向東北，接近濟州島。1958~1959年冷水衰退，中軸

接近中國大陸，水溫低降，同時在朝鮮西面黃海中部一帶，受暖流之影響，水溫與鹽度增高。

黃海冷水強盛時，其界面南進，侵入黑潮之範圍，水溫與鹽度低降，例如1954年，大陸雨量豐富，加以冬季風發達，因之冷水分佈之範圍，遠較常年為大，侵入黑潮區域，甚至達於臺灣之北面。

b. 黑潮中軸之變遷

加藤武夫(1958, 1960)曾以500米為基礎，計算100米層之密度力學地形圖而定其表面流速。彼研究1952~1959年中軸之位置，約在大陸斜坡與琉球海嶺之間，其變化之之原因除冷水之關係外，亦受地形之影響。

黑潮中軸之型式：可分為直線與曲線兩種，近中軸上層黑潮之暖水核寬約50公里，接近於大陸斜坡，在中層暖水核之位置移向東且範圍擴大。

加藤武夫曾研究冷水與暖水間界面之變動，以0m至75m平均氯度19.2‰與19.0‰作為二者之分界。同時在圖中加入以GEK海流觀測超過一節之流速。彼發現核層之分佈及其相互之方向，與海流之消長有密切之關係。當冷水衰弱時，核層指向北，因此黑潮之核層不生曲折，如1952及1956年之情形。冷水與黑潮水，可以氯度19.2‰及19.0‰加以區別，在兩等值線中間水深約100米之區域，流速極小，流向不定，相當於兩種不同水系之混合區域。混合區域之變遷，與兩種海流之消長，有極深之關係。混合區域與黑潮流速之間亦有密切之關係。

加藤武夫在表面流速最大之地點會計算0至200米層之平均流速，以及19.0‰與19.2‰兩等氯度線間之距離，彼發現一負相關，是即在流速大時，混合區域之距離小，反之如黑潮之流速弱，則此中間區域大，彼根據1952~1958年計算之結果，得一公式如下：

$$V = -0.74W + 160$$

式中V為黑潮之平均最大流速，單位厘米/秒，W為兩種水系界面之距離，單位公里。

此外關於黑潮與對馬海流近年來之變遷，加藤武夫曾計算奄美大島西南黑潮區域之斷面積，以及近於北緯 32° 東經 129.5° 以西對馬海流之斷面積。將氯度低於19.0‰之冷水及沿岸水之部分除外。在此斷面中，彼認為介於最大氯度及19.0‰之間之水層，為暖流之中心核層，在夏季對馬海流此層約在50~150米之間，黑潮約在0~300米之間，冬季對馬海流約為0~200米，黑潮約為0~400米。

根據1952~1959年每年二月在斷面中暖流面積及平均溫度之變化，加藤曾考察近年來此種海流之消長

，彼發現運輸量與溫度於1957年達於最低值。其後則有增進之趨勢。對馬海流之斷面積，溫度及速度之變化，頗相一致，但黑潮則否。自1956~1957年溫度低減，但斷面積擴張而速度則減小。其運輸量在近年來達於最低值，在此二年中，黑潮與對馬海流之熱量運輸之變化，情形相同。

夏季對馬海流受黃海冷水之影響，較冬季為小，其變化與黑潮相同。因此黑潮之消長，可作為對馬海流區域海況預測之根據。

5. 黑潮之來源路徑性質及分層現象

黑潮與北赤道流之性質，雖略有不同，（前者純粹為密度流，有一相當大之厚度600米至700米，後者之上部為吹送流，其下面亦為密度流，自表面達於400米），但可視為北赤道流之延續。自菲律賓群島之東北海面，轉向北流，沿臺灣東岸北上，流入東海，轉向東北而至日本沿海，在經過地區受當地水之羼入混合，性質逐漸變化，故黑潮水之性質，亦因地區不同而異，且在表面受日射蒸發降水等氣象因素之影響，在深層則有性質不同之水流存在，因此自表面以至深海，水質亦不相同而有分層之現象。

表層水

接近表面之水溫鹽度及其他海水性質，常因降水日射蒸發及其他現象而變，且此種變化之一般狀況，逐年不同，其影響之因素則隨時隨地而異，但根據實際觀測之結果，在同一海流之內，海水之性質，均比較均勻，僅在兩種海流中間之界面附近，差別較大，因此仍可區別各種不同之表面水團，如以上所述以表面水溫考察海流之分佈，即基於此，若以鹽度之分佈亦可加以考察。

黑潮水

黑潮水之真正來源，實為北太平洋之高鹽水，可以C_n表之，此水約發源於塞班島附近，其位置約20°~30°N, 160°~180°E，該處因蒸發強盛，鹽度頗高，季節變化甚小，惟溫度變化較大，在秋冬二季，其南部之水受東北貿易風之影響而向西流，因密度大而逐漸沉降，深度約在150米。其原來之性質，據肥沼寬一（1939）之研究，位溫約為25.5°C，鹽度約為35.5%，在進行途中，逐漸與表層水及中層之冷水相混，而形成各種不同之黑潮水。

中層冷水

中層冷水發源於親潮寒流，在北海道東面海區北緯40°，開始沉降，在黑潮之下面向南流，同時增加其鹽度，至東經155°以西，北緯35°附近，其中心層到達800米，鹽度為34.0%，然後繼續平流，轉向為

南南西及南西。到達Ogasawara海嶺，其中心層之鹽度幾維持常等，為中層冷水之起源，以I_n表之，其位溫為6.5°C，鹽度為34.00‰。

深層水

深層水之來源，因觀測資料至為稀少，尚未十分明瞭，但假定深層水在廣大地區較為均勻，根據此少數資料亦可加以判斷，因此肥沼寬一在此區域曾發現三種不同之深層水或其混合者：1. 菲律賓深淵，以D₁表之，深度約為5,000~7,000米，位溫約為1.38°C，鹽度為34.73‰。在臺灣東面所發現之深層水係屬於此種。2. 梭羅門群島北面，以D₂表之，深於3,500米，位溫為2.13°C，鹽度為34.73‰。3. 日本南面海盆，以D₃表之，深度約在2,000~3,000米，位溫為1.13°C，鹽度為34.95‰。

在臺灣東面之黑潮區域，自100米至200米，屬於黑潮本流之性質，以K_s表之，其位溫為21°~24°C，鹽度為34.98~35.06‰。在東海100~200米間之黑潮水，以K_s表之，位溫為19.5°~22.0°C。由於受東海低鹽水之影響，中層水之最低鹽度層較淺，約在600米，自此向下鹽度略增，但即近於常等，此因琉球海嶺阻礙中層水流入所致。

6. 東海及臺灣附近一般流速之分佈

冬季（以一月為例）黑潮自菲律賓東北海面，流向西北，其主流沿臺灣東岸北上，經臺灣與石垣島之間而入東海，轉向東北而至日本沿海。其支流經臺灣南面之巴士海峽而入中國南海，作反鐘向之環流。

在臺灣東岸，黑潮之流幅寬約150公里，流速以接近海岸為最大，南部約為0.8~1.0節，在臺灣與那國島之間，約為1.0~2.0節，在臺灣東南外海，流速約為0.5~1.0節。進入南海之黑潮支流，流速亦為0.5~1.0節。至於臺灣海峽，冬季中國沿岸流之勢力較強，自東海經臺灣海峽流入中國南海，多為西南向。流速以北部進口處為大，約為0.5~1.7節。南面出口處，在大陸沿岸約為0.5~1.5節，離岸稍遠則為0.5~1.0節。

夏季（以七月為例）臺灣東岸仍為黑潮之主流所經，其流入南海之支流，在表面並不明顯，而為南海之表面流所代替，自西南流向東北，經巴士海峽而併入於黑潮主流中，流速較冬季為大，在臺灣沿海約為1.0~3.0節，離岸稍遠為1.0~1.5節，更遠則為0.4~0.8節。在臺灣海峽之中國沿岸流，亦為南海之表面流所佔據，流向為東北，流速南部為0.8~1.5節，北部為0.5~1.7節。八月臺灣海峽之流速可達2.0節。春秋二季（九月與三月），臺灣海峽之流向轉變，沿臺灣西岸

，為黑潮支流所經，在大陸沿海則為中國沿岸流。流速較小，約為0.4~0.8節。

東海之流向與流速，完全受黑潮與季風海流之影響。黑潮比較穩定，季風海流則季節變化甚大。

冬季多偏北風，中國沿岸流發達，經臺灣海峽而入南海，流速可達0.4~1.0節，接近臺灣海峽可至0.5~1.5節，黑潮之南側流速較大，在琉球群島北面，約為0.5~1.7節，北側較小，約為0.5~1.2節，在九州西南，約為0.4~1.0節。黑潮與中國沿岸流之間，多渦動與環流，流速約0.3~0.8節。

夏季多偏南風，南海之季風海流，經臺灣海峽而入東海，可至長江口以北，流速南部為0.4~1.5節，向北減小，在長江口外為0.4~0.8節，在東海中部，減至0.3~0.7節。黑潮在臺灣東北約為0.5~1.5節，向東減小至0.4~1.0節，至九州西南，又增至0.5~1.5節，在九州西面，約為0.4~1.0節。

以上所述係依據美國海道測量局所出版之海流圖(1951, 1952)，以實測之表面流速為根據，每月一圖，所表示者為平均現象。實際上在東海及臺灣海峽，受潮流之影響甚大，使流向與流速發生變化，尤其

在臺灣海峽，潮流之速度，最大可至四、五節。

加藤武夫曾以1958年2月在東海用GEK(地磁電力海流計)實測之表面流，與水溫分佈相比較，如第10圖所示，其流速在1.0左右者，相當於黑潮中軸。自此向北，流速減低，方向亦不一致，相當於黑潮與黃海冷水間之變遷區域，渦動與環流，比較發達。

三、水團之研究及相對流速之計算

臺灣東南外海，為太平洋暖流黑潮之起源。故其水團之性質及各層流速分佈，素為一般人所注意，肥沼寬一曾於1939年間，發表“*The Hydrography of the South-Western Part of the North Pacific and the Kurosic*”一文，對於北太平洋西南部之水團及海流狀況，曾加以詳細之研究，惟所用之資料，以1925~1927年之海洋調查為主。此後日本學者對於黑潮之研究，大都偏於日本之南面海上，關於臺灣附近者尚少專文發表。又日本在第二次世界大戰以後迄至最近，在臺灣近海舉行海洋調查。目前所能獲得之觀測紀錄，僅有1939~1940年間所作之海洋調查。今就此項資料，研究其水團之性質，並計算動力高度以估計各層之流向與流速。

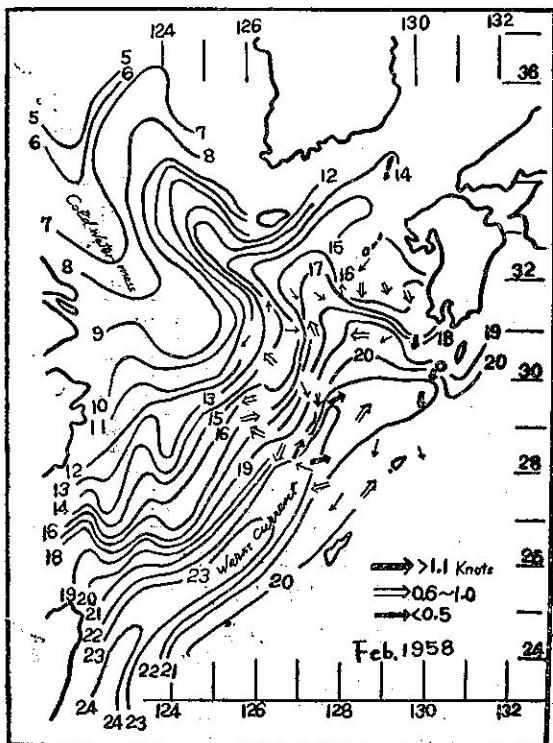
1. 水團之研究 表示水團性質之方法，以溫鹽圖解(Temperature-Salinity Diagram)為最常用，法以溫度為縱座標，鹽度為橫座標，將各站每一水層之實測紀錄繪成曲線，可明瞭水團性質之垂直變化，以各站之溫鹽曲線相比較，則可推測其水流系統及相互混合情形。

此次研究所用之資料，係採自1939年7月24日至9月2日第三拓南丸，在臺灣東南外海所作之觀測紀錄。今以其中54~59站之資料，繪製T-S曲線，如第11圖所示，此等測站之位置，見第12圖之斷面A，相當於黑潮之斷面，其曲線可表示夏季各站之平均性質及其垂直變化。

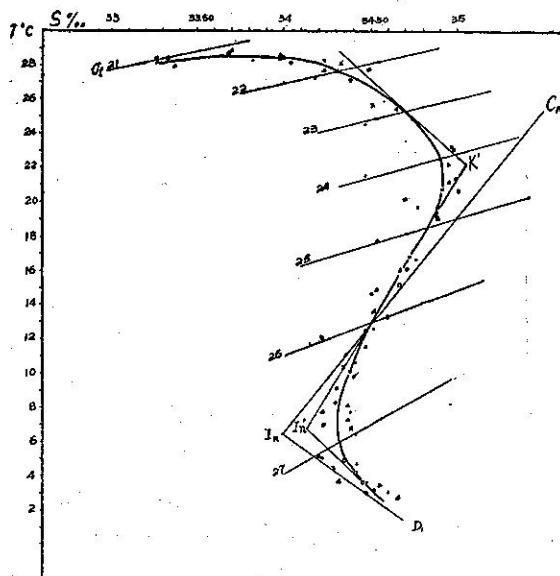
自表面至25米，(相當於當場密度 σ_t 21~22) 鹽度急升，溫度幾無變化，均在28°左右。此可認為係該區之表層水，表面多降水(雷雨及颱風雨)，鹽度低至33.30%，至25米急增為34.30%。時在夏季，日射強烈，因透射與傳導作用，使表層增熱而達於高溫，但表層增熱，密度低降，未能發生對流作用，低鹽度水停留海面。

自25米至100米左右(相當於 σ_t 22~24)，鹽度略升，溫度急降。相當於表層水與黑潮本流間之變遷區域，海水之性質係二者混合而成，溫度之垂直梯度特大

第10圖 一九五八年二月表面水溫及流速



第II圖 斷面A 溫鹽(T-S)曲線



。鹽度最大之深度，約在100米與150米之間。（相當於 σ_t 24~24.6）為黑潮之核心所在。

自150米以下，溫度與鹽度同時低降，係黑潮水與中層冷水混合所致，中層水之核心，約存在於600米左右。（相當於 σ_t 26.9）。600米以下，溫度繼續低降，鹽度則略升，則係中層水 I_n 與深層水 D_1 所混合。

圖中所繪 $C_n \sim I_n$ 與 $I_n \sim D_1$ 兩線，係表示純粹由二種水團所混合之海水，其溫鹽曲線所應遵循之線路。若由二種以上之水團相混合，則與此發生偏差。今觀圖中之曲線所示，可見約在400米（相當於 σ_t 26.1）左右與 $C_n \sim I_n$ 直線相交，認為純粹由 $C_n \sim I_n$ 二種水團所混合，其混合比約為： $C_n : I_n = 1:2$ ，在400米以上係 C_n 、 I_n 及表層水相混合，400米以下為 C_n 、 I_n 及 D_1 三種水相混合。

若於曲線上繪三切線，則相交於 K' 與 I_n' 兩點， K' 點相當於黑潮在此區域之固有性質，溫度為22.4°C，鹽度為35.03‰，與肥沼寬一所測定之 K_s 大致相同。 I_n' 則相當於中層水在此區域之固有性質，溫度約為7°C，鹽度為34.2‰。

2. 計算相對流速

表面海流之影響，至相當深度為止，故可假定一無水流之深度作為基礎，在臺灣附近以800米左右為最適當。在此水層，等水壓面與等位能面相平行。以上各水層之流向與流速，因等水壓面傾斜之方向與程

度而變。至等水壓面之傾斜，可以其位能高度「動力米」計量，因此相對流速，亦可計算而得。在每一測站各等水壓面間之厚度，可以下式加以計算：

$$D_2 - D_1 = \int_{P_1}^{P_2} \alpha dP$$

$D_2 - D_1$ = 等水壓面間之動力厚度

α = 比容

dP = 水壓差，以「十分巴」為單位。

因 $\alpha = \alpha_{35.0,p} + \delta$ $\alpha_{35.0,p}$ 為鹽度35‰，溫度0°C及相當水壓下之標準比容， δ 為在實測鹽度、溫度及水壓下之比容對於標準比容之變值，故

$$D_2 - D_1 = \int_{P_1}^{P_2} \alpha_{35.0,p} dp + \int_{P_1}^{P_2} \delta dp \\ = (D_2 - D_1)_{\text{Standard}} + \Delta D$$

標準比容水層之動力厚度，各站相同。因此各站間動力高度之較差，完全可以變值 ΔD 之較差表之。至於 ΔD 之計算，可用下式：

$$\Delta D = \int_{P_1}^{P_2} \delta dp$$

在實用上，水壓「十分巴」(Decibar) 可以深度「米」代替，由此產生對於 ΔD 之誤差小於1%，並不重要，可以不計。各水層之比容變值 δ ，係依照實測之水溫與鹽度紀錄，加以計算，其式如下：

$$\delta = \Delta_{st} + \delta_{sp} + \delta_{tp}$$

式中 Δ_{st} 、 δ_{sp} 及 δ_{tp} 為由此不同鹽度、溫度及壓力對於標準比容應有之變值，均可以實測之紀錄，自海洋計算常用表中檢查而得。

在兩站間 ΔD 之差，可以決定等壓面之傾斜度，在等壓面斜坡上作用之力，與地球自轉之偏向力相平衡，可以下式表示如下：因計算 ΔD 所用之水壓單位為十分巴 (Decibar)，但其標準單位應為百分巴 (Centibar)，應以10乘之，使成米/噸/秒單位。

$$\frac{10(\Delta D_A - \Delta D_B)}{L} = V 2 \omega \sin \phi$$

$\Delta D_A - \Delta D_B = AB$ 兩站間動力高度變值之差，以動力米表之。

L = 兩站間之距離，以米表之。

V = 垂直於兩站連接線之相對流速，以米/秒表之。

ω = 地球自轉之角速度 = 0.729×10^{-4} 弧/秒。

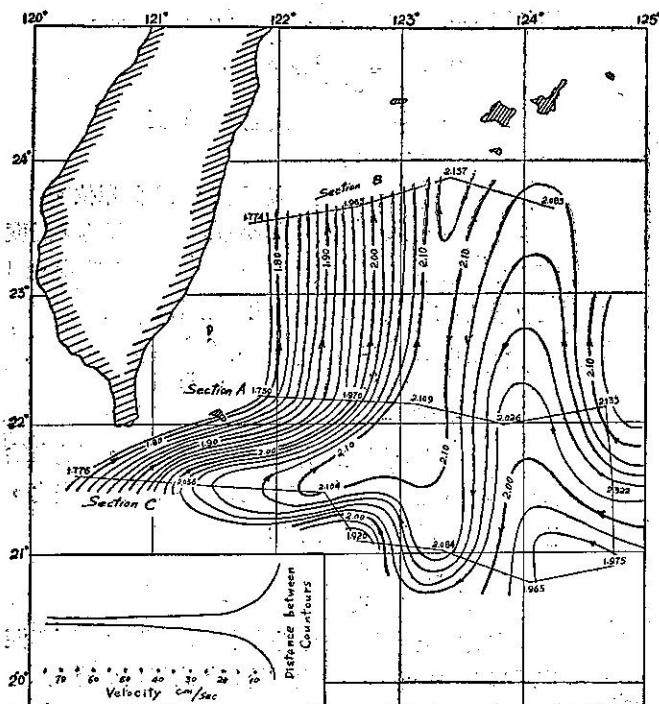
ϕ = 測站間之平均地方緯度。

解上式則得流速：

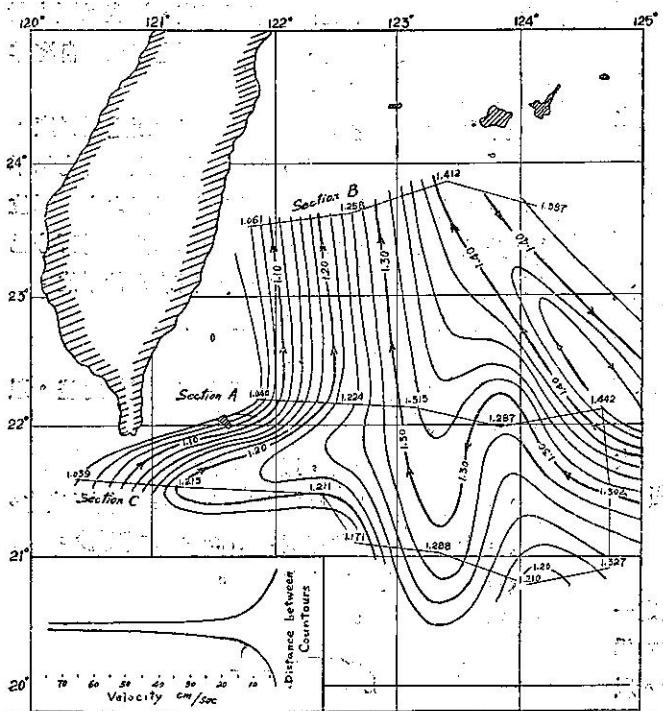
$$V = \frac{10(\Delta D_A - \Delta D_B)}{L 2 \omega \sin \phi}$$

在測站較多之處，可繪製等動力高度線，流向大

第12圖 台灣東南海面等高線圖



第13圖 台湾东南 150米層等高線圖



致與等值線平行，流速則與等值線間之寬度成反比。

計算相對海流所用之資料，亦採自第三拓南丸之觀測紀錄。每一測站以800米為基本水面，計算各水層之位能高度，並以同一水層之數值繪製等高線圖。如第12圖及第13圖。流線與等高線平行，流速與等高線之距離成反比。比例尺如左下角插圖所示。以第12圖觀之，可見臺灣東南海面流線分佈之狀況，在臺灣東面沿海，為黑潮主流所經，流幅寬約120~150公里，流速約50~100cm/sec (1.0~2.0節)，因時在夏季，南海之季風流經巴士海峽流向東北，併入於黑潮主流，故在鵝鑾鼻東南外海，流速最大。此與前章所述流向流速之一般分佈狀況，頗相符合。在黑潮主流以東，流線成迂迴曲折之狀，流速甚小，約為0~30cm/sec (0~0.6節)。此與大洋海流之一般性質，亦頗相符。

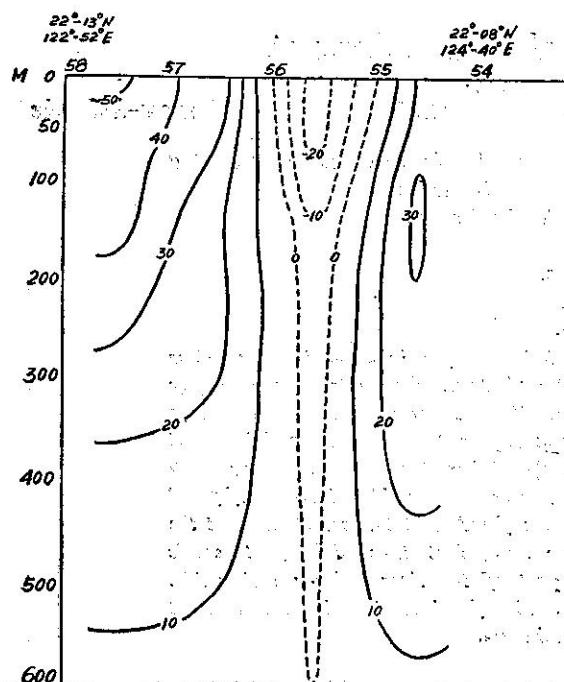
第13圖為150米層之等高線圖，此層相當於黑潮之中心，流線大致與表面相同，惟曲折之程度較淺。流速則沿海較表面為小，約為30~70cm/sec (0.6~1.4節)，離岸較遠，流速大致與表面相同。

第14圖所示，為斷面A相對流速之垂直分佈，係用每二站間之平均流速繪製。由此可見一般情形，流速均隨深度而減小。

四、討 論

- 此次研究東海海流之分佈及界面位置之變化，係以長崎海洋氣象臺之海況旬報為根據。其刊載之資料，僅限於表面水溫之分佈狀況，及主要測站之旬平均溫度，此種資料之來源相當廣泛，亦頗可靠。其唯一缺點則為未能獲得鹽度測定資料。因夏季日射強烈，表面水溫普遍升高，不易區別不同之水流。界面位置至不明顯。鹽度較具保守性，可以區別水流之性質，更為適宜。惟欲獲得此種資料，較為困難。因水溫觀測比較簡單，大部分船舶均可從事，鹽度測定則必須有相當之設備，才能實行。

第14圖 斷面A相對流速垂直分佈(cm/sec)



說明：海流向北，流速為正。
海流向南，流速為負。

2. 黃海冷水及沿岸水之消長，受季風之變遷及降水與大陸排水之影響，因此如能雙方同時加以考察，則可就其影響之情形，研究其相關之程度，對於東海海況之預報，將大有裨益。

3. 此次計算臺灣附近相對流速所用之資料，係根據1939年7月24日至9月2日所作之海洋調查。所得結果僅為夏季一時的狀況。冬季觀測，本極稀少。近年以來，在臺灣附近尚無海洋調查，因之冬季狀況及歷

年變化，均無法明瞭，從事研究更屬困難。

4. 海洋學之應用，已逐漸趨向於海況預報方面。海況之變遷，受海流之影響極大，而海流之消長，又為季風、降水與大陸排水等所左右，因此欲從事此項研究，各方面均須顧及。為蒐集各項資料，海洋調查實屬必要。在海流調查方面，直接方法與間接方法須同時並用，則可將所得之結果，相互比較，以資印證也。

參考文獻

- 1. 遠田時美(1957)：中國東海及對馬海峽之漁業海洋學——日本西海區水產研究所研究報告第13號
- 2. 遠田時美(1950)：珪酸鹽考察中國東海冬季之水團——東海黃海之海況第2報
- 3. 宇田道隆(1947, 1950)：中國東海之水溫變化——日本西海區水產研究所東海黃海之海況第2報
- 4. 宇田道隆(1941)：1939年6, 7月中國海方面之海況——水產試驗場報告第11號
- 5. 安井善一(1932)：長崎上海間水溫鹽度之年變化——海洋時報 第4卷第1號
- 6. 松平康男(1933)：上海長崎間表面觀測結果
- 7. 菊池繁雄(1958)：關於東海表面水溫之研究——海象與氣象 第10卷
- 8. 加藤武夫(1958)：夏季中國東海之海況
- 9. 加藤武夫(1959)：冬季中國東海之海況——海象與氣象 第9卷 第10卷
- 10. 肥沼寬一(1939)：北太平洋西南部之海況與黑潮——神戶海洋氣象臺、歐文報告 第6卷第7卷
- 11. 氣象廳：海洋報告 第7卷特別號
- 12. 海上保安廳：水路要報 第7號
- 13. U. S. Hydrographical Office (1945) : Ocean Current
- 14. U. S. Hydrographical Office (1945) : Marine Geography of the Formosan Waters.

— 完 —

氣象學報訂購辦法

- 一、本學報以促進中國氣象學術之研究為目的。
- 二、個人如欲訂購，可報請服務之單位，備文證明，連同價款，逕寄本社，或利用各地郵局，將書款存入臺灣郵政第2797號劃撥金本所專戶，當按址寄送所需之學報。
- 三、本學報本期暫收成本費新臺幣壹拾元，郵票十足通用。

氣象學報徵稿啟事

- 本學報長期徵收稿件，歡迎各方踴躍惠稿，惟為配合出版時期起見，惠稿最好於二、五、八、十一等月月中以前寄達，以便及時刊載，而免積壓，敬請惠稿諸先生注意。