

## 155°E 赤道海流夏季基本特征\*

顾玉荷

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

**提要** 本文利用日本气象厅“凌风丸”1972—1979年夏季在155°E断面赤道附近的海流观测资料,分析了该断面上赤道流系夏季的基本特征及其与El Niño的关系。该断面上的赤道潜流相当稳定,它以赤道为中心,位于100—350m之间,平均输送量为31 Sv,平均最大流速为73 cm/s,而南赤道流和赤道表层流变化很大。文中以1975年6月和1976年6月两次观测资料为例,分析了1976—1977 El Niño事件过程中南赤道流和赤道表层流的变化及其与西太平洋赤道地区大气环流的关系。

近几年来,在对 El Niño (下简称 EN) 现象的研究中,人们越来越清楚地认识到太平洋西部赤道地区的海流与东部的 EN 现象有着非常密切的关系,因此,对太平洋西部赤道流系的研究已成为当今物理海洋学中的一个热点。作为太平洋赤道海洋动力学实验的一部分,在1982—1983特大 EN 期间,在中太平洋159°W和东太平洋110°W处对赤道潜流进行了连续观测,其结果表明这两个断面处的赤道潜流,在1982—1983 EN 期间,先后发生过短期的消失现象<sup>[1,6]</sup>。日本气象厅“凌风丸”自1967年开始,沿137°E在1°S—9°N范围内每年进行1—2次观测,基于这些资料,文献[5]和<sup>[6]</sup>分析了该断面处赤道流系的一些基本特征,并发现赤道潜流不仅在1982—1983 EN 期间出现消失现象,而且在1972—1973和1976—1977 EN 期间也出现消失现象。

本文依据日本气象厅1972—1979年夏季沿155°E断面在赤道附近作的7次海流观测资料<sup>[6]</sup>,分析该断面处赤道海流夏季的基本特征及其与EN现象和大气环流的关系。该资料由“凌风丸”用TS-II和Richardson海流计测得,零面深度在800m以下,观测深度为500m,自海面至500m一般有16层。断面以赤道为中心,位于5°S—5°N之间,在2°N—2°S区间站距为0.5°,其余为1°左右。其中前4次即1972、1973、1975和1976的观测资料比较完整又在EN事件前后,本文以这4次为主进行分析。

### 1. 流系的平均状况

1972年6月—1979年6月的平均纬向速度分量的经向分布如图1。在赤道附近2°N—2°S间一般有5—7次观测,而且都在6月,因此,可以认为该图能代表赤道附近夏季海流的平均状况。由图1可知,在1°S—4°N,水深300m甚至350m以上的广

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1571号。本文由国家自然科学基金资助。

收稿日期: 1988年11月28日。

1) Guyuhe, 1990. Variation of the Equatorial Currents Along 137°E and El Niño. 中美热带西太平洋海-气相互作用学术会议论文集(英文版),正在印刷中。

大海域内,大部分为东向海流占据。在赤道附近,在  $1.5^{\circ}\text{S}-2^{\circ}\text{N}$ ,  $100\text{ m}-300\text{ m}$  范围内,有一个以赤道为中心速度很强的封闭的东向流流核,在其内部尚可见 3 个小流核,其中一个在  $1^{\circ}\text{N}$  以北、核心流速在  $50\text{ cm/s}$  以上,另两个在赤道下方  $200\text{ m}$  处,以赤道相对称,流速很强,分别为  $60\text{ cm/s}$  和  $70\text{ cm/s}$  以上。这是赤道潜流的中心位置。赤道潜流以赤道为中心主要位于  $2^{\circ}\text{N}-2^{\circ}\text{S}$ ,  $100\text{ m}-350\text{ m}$  的温跃层中,平均最大速度为  $73\text{ cm/s}$ ,平均输送量为  $31.4\text{ Sv}$  ( $1\text{ Sv} = 10^6\text{ m}^3/\text{s}$ )。这些特征与其他作者<sup>[7,10,13]</sup>在中太平洋所得结果十分一致。

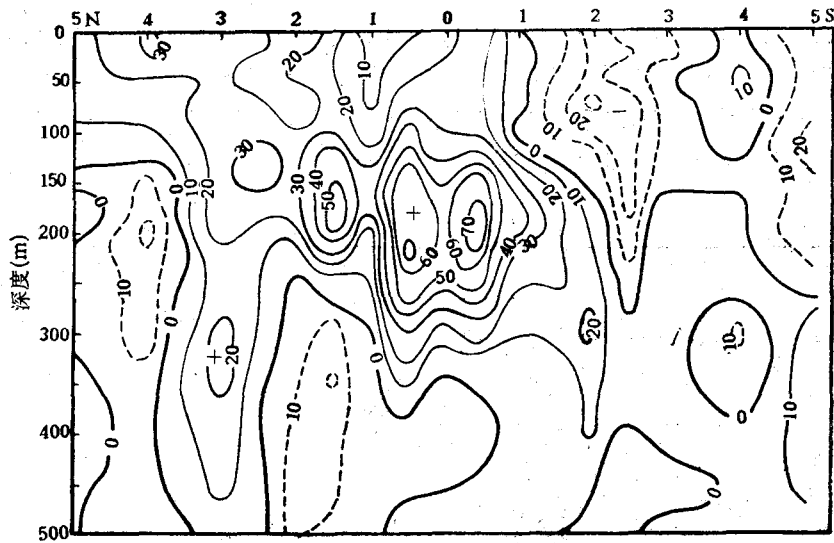


图 1 平均纬向速度分量的经向分布  
(1972.6—1979.6  $155^{\circ}\text{E}$ )

Fig. 1 Meridional distribution of average zonal velocity component at  $155^{\circ}\text{E}$  from June, 1972 to June, 1979  
----为西向流; ——为东向流。

赤道潜流北侧是北赤道逆流,它与潜流方向一致,彼此相联,一般很难区分,有时中间有一弱流区把两者分开。与潜流相比较,北赤道逆流要弱得多且没有明显的核心存在,它的上界可伸至海面,北界可以达到  $10^{\circ}\text{N}$  附近。潜流南侧是流向向西的南赤道流,它自海面伸至  $200\text{ m}$ ,上宽下窄,有时越过赤道。在这几次观测中,表层的平均位置在  $1^{\circ}-3^{\circ}\text{S}$  间。南赤道流以南是流向向东的南赤道逆流。潜流之上是赤道表层流,因受大气环流变化的影响,表层流变化很大,一般情况下夏季自西向东与潜流方向一致,有时与潜流连在一起,在许多情况下中间有弱流层相隔,常形成一个封闭的流核,深度可达  $100\text{ m}$ ,最大速度可达  $100\text{ cm/s}$ (图 1, 3 及文献[5]之图 2)。1975 年夏季的情形与其他情况截然不同,潜流之上的表层流几乎完全为西向流所控制,由于如此强烈的年际变化,使平均后的表层流的流速大大减小,特征不明显。赤道潜流和北赤道逆流下面的西向流是赤道中层流<sup>[11]</sup>,它的上界可伸至  $200\text{ m}$ ,把赤道潜流与北赤道逆流隔开,其最大速度可达  $26\text{ cm/s}$ 。赤道中层流的南北两侧分别是流向向东的南、北次表层逆流<sup>[9]</sup>。 $4^{\circ}\text{N}$  以北出现的西向流

为北赤道流的南侧部分。

## 2. 流系的年际变化

155°E 处的赤道海流有着明显的年际变化, 现以 1975 年 6 月和 1976 年 6 月两次观测为例, 分析 1976—1977 年 EN 事件前后各海流的变化。比较图 2 和图 3, 可以看出 1975 年 6 月 (EN 事件发生前) 和 1976 年 6 月 (EN 事件发生年) 流系的分布明显不同, 最突出的特点是 1975 年 6 月的西向流异常强, 它越过赤道向北一直延伸到 1°N 甚至 2°N 附近, 在赤道潜流的上方, 从海面至 70 m 处全部为西向流覆盖。而 1976 年 6 月的情形则恰好相反, 在图上 (图 3) 几乎看不到西向流的存在, 它已经退缩到 2°S 以南, 2°S 以北, 350 m 水深以上的海域全部为东向流占据; 而且, 在赤道潜流的上方, 在 0.5°N—2°S 的广大范围内出现了一个深度可达 100 m 的最大流速为 100 cm/s 的非常强的东向流流核, 其下方有一明显的弱流层把表层流和潜流隔开。赤道潜流的中心位置也有变化, 1975 年 6 月在赤道以北, 1976 年 6 月南移到 1°S 附近。

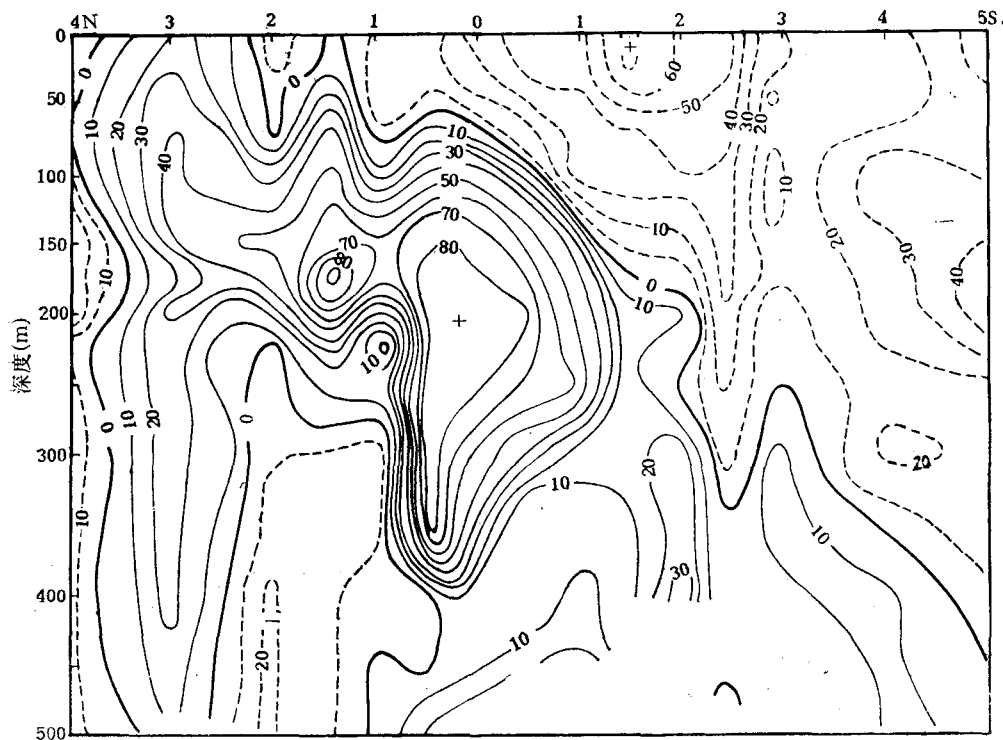


图 2 1975 年 6 月纬向速度 (cm/s) 分量的经向分布 (155°E)

Fig. 2 Meridional distribution of zonal velocity component at 155°E in June 1975

----为西向流; ——为东向流。

2°N—2°S, 海面至 350 m 水深范围内各流系的流量变化如图 4 所示。这里所说的总流量包括了赤道潜流、赤道表层流和一部分北赤道逆流。1972—1976 年 4 次观测到的东向流的总流量为 37—49 Sv, 平均为 44.8 Sv, 最大流速为 85—95 cm/s。赤道潜流的流量为 22.5—37 Sv, 平均为 30 Sv, 总的来说, 流量的变化不大。但 1972 年 6 月和 1976 年

6月这两次 EN 发生年的潜流的流量比事件发生后的 1973 年 6 月和事件发生前的 1975 年 6 月的流量略有减小。这与 1982—1983 EN 事件期间赤道潜流出现短时消失现象并不矛盾。表层的东向流的流量变化很大。1972 年 6 月和 1976 年 6 月两次 EN 事件发生年,表层流特别强,分别达 14.7 和 17.4 Sv, 而且都形成一个最大流速为 80—100 cm/s 的强流核,而其他各年的流量不足 3 Sv, 1975 年 6 月几乎降为零。观测期间南赤道流一般出现在 1°S 以南,而 1976 年 6 月和 1977 年 6 月退缩到 2°S 以南,致使 2°N—2°S 之间南赤道流的流量几乎为零。然而 1975 年 6 月的南赤道流却大不相同,它越过赤道一直伸至 2°N 附近,使赤道潜流的上方全为西向流占据。因此,西向流的总流量高达 11 Sv, 其核心速度高达 70 cm/s。这与 Kesster<sup>[9]</sup> 等的结果是一致的。

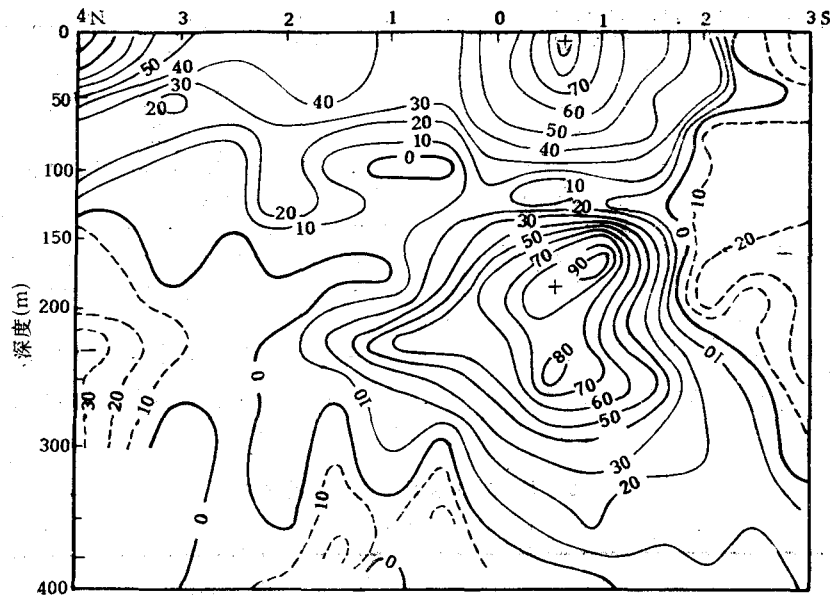


图 3 1976 年 6 月纬向速度(cm/s)分量的经向分布(155°E)

Fig. 3 Meridional distribution of zonal velocity component at 155°E in June 1976

----为西向流; ——为东向流。

### 3. 流向的变化

上述各流系以纬向分量为主,流动基本呈东西向。实际上经向速度也是不小的,而且变化很大。由图 5 知,赤道潜流流核处的纬向速度一般为 85—95 cm/s, 其对应的经向速度一般向北且速度不强。因此,潜流流核处的流动基本呈东西向。但 1973 和 1976 年 6 月流核处的经向速度均向南,而且 1976 年 6 月的南向分量高达 54 cm/s。这样,流核处的合成速度高达 110 cm/s,流向也变成东南向(120°)。由图 5 还可看出,最大的经向速度并不对应于最大的纬向速度,而且变化很大。多数情况,经向分量向北,流速在 32—39 cm/s 之间。1973 和 1976 年 6 月转而向南且速度高达 54 cm/s 左右,而对应的纬向速度始终向东。因此,在经向速度分量最大值处,流向时而为东北向(60°),时而转为东南向(120°)。

赤道表层流、赤道潜流及南赤道流流核处纬向和经向分量的方向见表 1。表层流一般

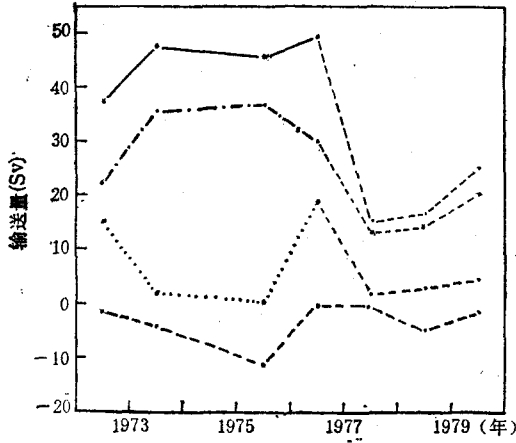


图4 赤道海流输送量的变化  
(2°N—2°S, 155°E)

Fig. 4 Transport fluctuation of equatorial currents at 155°E between 2°N—2°S  
—0—350 m 东向流总输送量; - - - 赤道潜流的输送量; ····· 表层东向海流的输送量; - · - · - 西向的南赤道流的输送量。

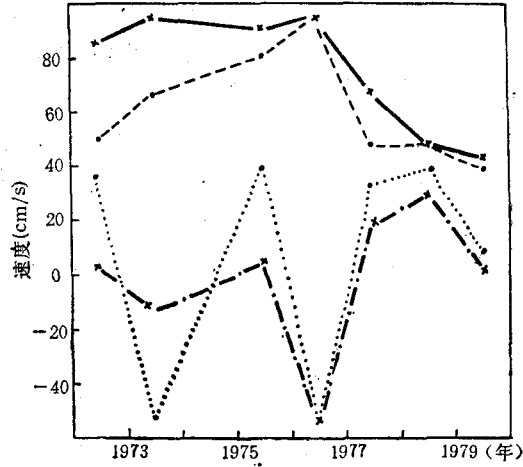


图5 赤道潜流的纬向和经向速度变化

Fig. 5 Fluctuation of zonal and meridional velocity component of the EUC  
—最大纬向速度; - - - 与最大纬向速度对应的经向速度; ····· 最大经向速度; - · - · - 与最大经向速度对应的纬向速度。

为东南向,但1975和1978年6月为西北向,赤道潜流一般为东北向,但1973和1976年6月为东南向。南赤道流一般具有向北的经向分量,但1972、1973和1979年6月为向南的。

表1 155°E 赤道附近主要海流的方向

Tab. 1 Direction of Main Currents near equator at 155° E

表层流	1972.6	1973.6	1975.6	1976.6	1977.6	1978.6	1979.6
表层流	S. E	S. E	N. W	S. E	S. E	N. W	S. E
赤道潜流	N. E	S. E	N. E	S. E	N. E	N. E	N. E
南赤道流	S. W	S. W	N. W	N. W	N. W	N. W	S. W

下面讨论引起这些海流如此强烈变化的原因。

#### 4. 讨论与结论

155°E 断面上赤道附近主要海流夏季的基本特征及与EN的关系归纳如下。

(1) 赤道潜流是155°E断面上2°N—2°S间最主要的海流,它比相邻的北赤道逆流强得多,与西部137°E的潜流相比,不仅流速强、流量大,而且稳定得多。它以赤道为中心,占据100—350m的深度范围,平均输送量为31Sv,流向一般向东偏北,但1973和1976年6月流向变为东南。总的来看,这里的赤道潜流其位置、流速和流量变化都不大。

(2) 位于潜流之上的表层流受大气环流的影响极易改变方向,一般为向东偏南。1927

年6月和1976年6月即EN发生年,东向的表层流特别强,但EN事件发生前的1975年6月,表层流转为西北向,而且流速很强。

(3) 南赤道流一般在1°S以南。1975年6月则越过赤道向北伸至2°N附近,使2°N—2°S间的西向流的流量高达11 Sv,然而1976年6月同样范围内的西向流的流量几乎减为零。

赤道海流的这些特征和变异与大气环流尤其是西北太平洋风场的变化有着非常密切的关系。下面以1972—1973和1976—1977 EN事件为例,讨论两者间的关系。图6是1951—1979年西北太平洋赤道地区纬向和经向风应力11个月的滑动平均值<sup>[3,4]</sup>,本文中讨论的两次EN事件均发生在此期间,由图6可知,在1972—1973和1976—1977年EN事件发生前的1970—1971和1974—1975年,上述地区均出现异常强的东南风,而在1972和1976年即EN事件发生年,强烈的东南风均被异常强的西北风所取代。由于强劲的东南贸易风的作用,使1975年6月的南赤道流变得异常强,越过赤道一直伸到2°N附近,导致了2°N—2°S范围内的西向的南赤道流的流量增至11 Sv,然而在1972和1976两年,由于异常强的西北风的作用,南赤道流相应地减弱,以致退缩到2°S以南,同时东向的表层流明显增强,形成了一个非常强的表层流流核。因此,155°E断面上赤道海流在1972—1973和1976—1977 EN事件前后的变化与西北太平洋地区风的异常变化密切相关。这一点与Wyrki<sup>[12]</sup>解释EN事件与大气环流的相互关系时作的精辟论述是一致的。这里的赤道潜流是否也像137°E及其他经度处那样在EN期间发生消失现象,有待于进一步的观测来证实。

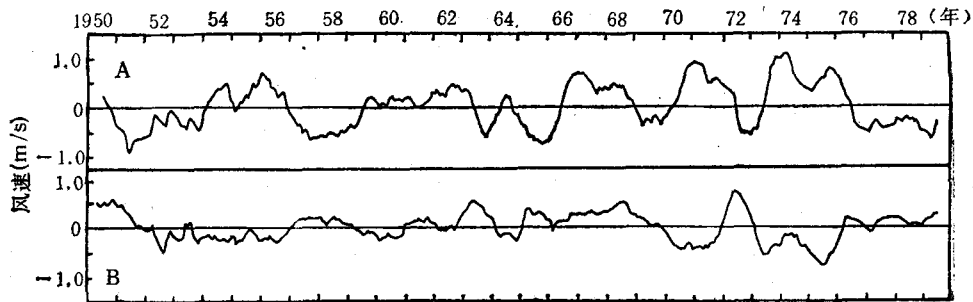


图6 西北太平洋赤道地区风异常11个月的滑动平均值

Fig. 6 The 11-month running mean curves of wind anomalies over 0°—10°N, 140°E—180°E, 1950—1979

A. 经向风异常; B. 纬向风异常。  
(0°—10°N, 140°—180°E, 1950—1979)

另外,1977—1979年间3次观测到的流速和流量比前4次明显减小,这固然与流系本身的年际变化有关,但另一个更为重要的原因是,在这3次观测中测站分布较稀,观测深度浅,层次也少得多,很可能使最大流速漏测。因此本文对这几次观测没有进行分析,有待于获取更完整的资料后再作分析。

## 参 考 文 献

- [1] Firing, E., R. Lukas, K. Wyrtki, 1983. Equatorial Undercurrent Disappears During 1982—1983 El Niño. *Science* 222: 1121—1123.
- [2] Firing, E and R. Lukas, 1983. El Niño at the equator and 159°W. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter* 21: 9—11.
- [3] Gao, S. Y and J. S. Wang, 1987a. EL Niño and the SO (southern oscillation). *Tropical ocean-atmosphere Newsletter* 39: 4—6.
- [4] Gao, S. Y and J. S. Wang, 1987b. Variability of the Meridional Winds in the West Equatorial Pacific and El Niño. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter* 40: 5—8.
- [5] Guan Bingxian, 1986. Current structure and its Variation in the Equatorial Area of the Western North Pacific Ocean. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 4(3): 239—255.
- [6] Halpern, D. 1983. Variability of the Cromwell Current at 110°W before and during the 1982—1983 warm event. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*. 21: 31—34.
- [7] Hisard, P., Y. Magnier and B. Wauthy, 1969. Comparison of the hydrographic structure of equatorial water north of New Guinea and at 170°E. *J. Mar. Res.* 27: 191—205.
- [8] Japan Meteorological Agency, 1972—1979. The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observation. Nos. 52, 54, 58, 60, 62, 64, 66.
- [9] Kesster, W. S and B. Taft, 1987. Dynamic Heights and Zonal Geostrophic Transports in the Central Tropical Pacific During 1979—1984. *J. Phys. Oceanogr.* 17: 97—122.
- [10] Magnier, Y., H. Rotschi and C. Colin, 1973. Equatorial Circulation in the Western Pacific (170°E). in *Progress Oceanography* (Ed. by B. A. Warren.) 6(2): 29—46.
- [11] Philander, S. G. H., 1973. Equatorial Undercurrent: Measurements and Theories. *Reviews of Geophysics and Space physics.* 11(3): 513—570.
- [12] Wyrtki, K., 1975. El Niño-The Dynamic Response of the Equatorial Pacific Ocean to Atmosphere Forcing. *J. Phys. Oceanogr.* 5: 572—584.
- [13] Wyrtki, K., E. Firing, D. Halpern, et al, 1981. The Hawaii to Tahiti shuttle Experiment. *Science* 211: 22—28.

## SUMMERY BASIC FEATURES OF THE EQUATORIAL CURRENTS AT 155°E

Gu Yuhe

*(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)*

### ABSTRACT

The current measurement data from the R/V Ryofu Maru of JMA in the equatorial area along 155°E in summer 1972—1979 are used to reveal summery basic features of the equatorial currents at 155°E and their relationship to El Niño events.

On the average, the Equatorial Undercurrent (EUC) at 155°E is very stable both in position and strength. It's centred at the equator and limited between 2°N—2°S, 100—350 m depth. The average transport is 31 Sv and the average maximum zonal velocity component is 73 cm/s. The South Equatorial Current (SEC) and the surface current above the EUC varied greatly. In June 1975 i.e. the summer before 1976—1977 El Niño event, the SEC was anomalously strong, it crossed the equator and extended to 2°N, the transport between 2°N—2°S reached at 12 Sv, while in June of 1972 and 1976, i.e. the summer of El Niño year, it was anomalously weak and shrank back south of 2°S, the transport north of 2°S fell down to only 1 Sv and 3.7 Sv, respectively. In contrast to the SEC, the surface current above the EUC flowed toward east in June of 1972 and 1976, but mostly westward in June 1975. The eastward transport of the surface current between 2°N—2°S in June of 1972 and 1976 was 15 and 17 Sv, respectively, but only 2 Sv in June 1975. By the comparing the variations of the equatorial currents discussed above with the variations of wind, it was found that in the post and pre-El Niño periods of 1972—1973 and 1976—1977 the variations of the equatorial currents at 155°E were closely related with the anomalous variations of wind in the northwestern Pacific Ocean over 0°—10°N, 140°—180°E.