

東京大学大学院新領域創成化学科

海洋技術環境学専攻

平成 23 年度

修士論文

太平洋海盆内各層の水溫塩分変化と  
海面水位上昇への寄与

平成 24 年 1 月提出

指導教員 佐藤徹教授

河野健教授

修士 2 年

47-106644 乗松祐里

# 目次

図表目次 .....	2
1 章 緒言 .....	6
1-1 背景 .....	6
1-1-1 地球温暖化 .....	6
1-1-2 海面高度上昇 .....	6
1-2 先行研究 .....	9
1-3 研究目的 .....	11
2 章 解析方法 .....	12
2-1 観測線 .....	12
2-2 データ処理 .....	14
2-2-1 生データについて .....	14
2-2-2 観測点の抽出 .....	20
2-2-3 塩分の補正 .....	21
2-2-4 データファイルの完成 .....	26
2-2-5 データセットの完成 .....	26
2-3 解析プログラム .....	26
2-4 海水膨張の計算法 .....	28
2-5 海盆の区分 .....	30
3 章 計算結果と考察 .....	36
3-1 海面高度上昇 .....	36
3-1-1 計算結果の MAP .....	36
3-1-2 各層における海面高度変化への寄与 .....	57
3-1-3 海盆毎の海面高度変化の特徴 .....	73
3-2 先行研究との比較 .....	90
3-2-1 Purkey & Johnson (2010) との比較 .....	90
3-2-2 矩形メッシュで切っている先行研究との比較 .....	92
3-3 太平洋深層の熱塩循環との関連 .....	104
3-3-1 熱塩循環について .....	104
3-3-2 深層水の経路 .....	106
4 章 TEOS-10 と EOS-80 の比較 .....	109
4-1 新しい状態方程式について .....	109
4-2 海面高度変化 .....	109
4-3 $\alpha, \beta$ の温度および塩分依存性 .....	114
5 章 結言 .....	124
参考文献 .....	126
謝辞 .....	128

## 図表目次

Fig.1-1 最近 50 年間で海面から 700 m までの熱量変化 (全海洋) (URL: <a href="http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wg1_ts_Jpn.pdf">http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wg1_ts_Jpn.pdf</a> ) .....	7
Fig.1-2 海面高度変化の要因 (IPCC,AR4) .....	7
Fig.1-3 気温上昇および、海面高度上昇の将来予測 .....	8
Fig.1-4 太平洋における 5000 m 以深での海面高度上昇 (mm/year) .....	9
Fig.1-5 4000 m 以深の貯熱量変化と熱膨張による海面高度変化 .....	9
Fig.1-6 3000 m 以深での貯熱量、塩分変化による海面高度変化 .....	10
Fig.2-1 WOCE Hydrographic Program の観測線 .....	12
Fig.2-2 Observation line.....	13
Fig.2-3 Cruise track of RF10-05 (P09 CRUISE REPORT 参照) .....	15
Fig.2-4 The bottle depth diagram for WHP-P9 revisit. ....	16
Fig.2-5 Cruise summary information (P09 CRUISE REPORT 参照) .....	17
Fig.2-6 観測点整理前.....	20
Fig.2-7 観測点整理後.....	21
Fig.2-8 Guildline 社製の塩分計 .....	22
Fig.2-9 標準海水.....	23
Fig.3-1 $\Delta h_T2000$ (mm/year) .....	37
Fig.3-2 $\Delta h_S2000$ (mm/year) .....	37
Fig.3-3 $\Delta h2000$ (mm/year) .....	38
Fig.3-4 $\Delta h_T3000$ (mm/year) .....	39
Fig.3-5 $\Delta h_S3000$ (mm/year) .....	40
Fig.3-6 $\Delta h3000$ (mm/year) .....	41
Fig.3-7 $\Delta h_T4000$ (mm/year) .....	42
Fig.3-8 $\Delta h_S4000$ (mm/year) .....	43
Fig.3-9 $\Delta h4000$ (mm/year) .....	44
Fig.3-10 $\Delta h_T5000$ (mm/year) .....	45
Fig.3-11 $h_S5000$ (mm/year) .....	46
Fig.3-12 $\Delta h5000$ (mm/year) .....	47
Fig.3-13 $\Delta h_T2000\sim3000$ m (mm/year) .....	48
Fig.3-14 $h_S2000\sim3000$ m (mm/year) .....	49
Fig.3-15 $\Delta h2000\sim3000$ m (mm/year) .....	50
Fig.3-16 $\Delta h_T3000\sim4000$ m (mm/year) .....	51
Fig.3-17 $h_S3000\sim4000$ m (mm/year) .....	52
Fig.3-18 $\Delta h3000\sim4000$ m (mm/year) .....	53

Fig.3- 19	$\Delta h_T$ 4000~5000 m (mm/year)	54
Fig.3- 20	$h_s$ 4000~5000 m (mm/year)	55
Fig.3- 21	$\Delta h$ -4000~5000 m (mm/year)	56
Fig.3- 22	温度による各層の $\Delta h_T$ (mm/year)	57
Fig.3- 23	塩分による各層の $\Delta h_s$ (mm/year)	58
Fig.3- 24	各層の $\Delta h$ (mm/year)	59
Fig.3- 25	フィリピン海盆 (海盆 1) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	60
Fig.3- 26	オーストラリア東部 (海盆 2) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	61
Fig.3- 27	東カロリン海盆 (海盆 3) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	62
Fig.3- 28	北西太平洋海盆 (海盆 4) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	63
Fig.3- 29	南西太平洋海盆 (海盆 5) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	64
Fig.3- 30	ペルー沖 (海盆 6) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	65
Fig.3- 31	南西太平洋海盆東部 (海盆 7) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	66
Fig.3- 32	中央太平洋海盆 (海盆 8) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	67
Fig.3- 33	北太平洋中央部 (海盆 9) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	68
Fig.3- 34	北太平洋東部 (海盆 10) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	69
Fig.3- 35	東太平洋海盆 (海盆 11) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	70
Fig.3- 36	東太平洋海盆東部 (海盆 12) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	71
Fig.3- 37	ベーリング海 (海盆 13) における各層の $\Delta h$ (mm/year)	72
Fig.3- 38	温度による $\Delta h_T$ の積算	73
Fig.3- 39	塩分による $\Delta h_s$ の積算	74
Fig.3- 40	$\Delta h$ の積算	75
Fig.3- 41	フィリピン海盆 (海盆 1) における $\Delta h$ の積算	76
Fig.3- 42	オーストラリア東部 (海盆 2) における $\Delta h$ の積算	77
Fig.3- 43	東カロリン海盆 (海盆 3) における $\Delta h$ の積算	78
Fig.3- 44	北西太平洋海盆 (海盆 4) における $\Delta h$ の積算	79
Fig.3- 45	南西太平洋海盆 (海盆 5) における $\Delta h$ の積算	80
Fig.3- 46	ペルー沖 (海盆 6) における $\Delta h$ の積算	81
Fig.3- 47	南西太平洋海盆東部 (海盆 7) における $\Delta h$ の積算	82
Fig.3- 48	中央太平洋海盆 (海盆 8) における $\Delta h$ の積算	83
Fig.3- 49	北太平洋中央部 (海盆 9) における $\Delta h$ の積算	84
Fig.3- 50	北太平洋東部 (海盆 10) における $\Delta h$ の積算	85
Fig.3- 51	東太平洋海盆 (海盆 11) における $\Delta h$ の積算	86
Fig.3- 52	東太平洋海盆東部 (海盆 12) における $\Delta h$ の積算	87
Fig.3- 53	ベーリング海 (海盆 13) における $\Delta h$ の積算	88
Fig.3- 54	Purkey & Johnson (2010)	90
Fig.3- 55	比較のための区分	91
Fig.3- 56	本研究プログラムによる温度による海面高度変化 $\Delta h_T$ (mm/year)	91



Fig.3- 57 本研究及び Purkey & Johnson (2010) の計算結果比較の棒グラフ	92
Fig.3- 58 矩形メッシュ 4×4	93
Fig.3- 59 矩形メッシュ 5×5	94
Fig.3- 60 矩形メッシュ 6×6	94
Fig.3- 61 $\Delta h_T$	96
Fig.3- 62 $\Delta h_s$ (mm/year)	96
Fig.3- 63 $\Delta h$ (mm/year)	97
Fig.3- 64 $\Delta h_T$ (mm/year)	99
Fig.3- 65 $\Delta h_s$ (mm/year)	99
Fig.3- 66 $\Delta h$ (mm/year)	100
Fig.3- 67 $\Delta h_T$ (mm/year)	102
Fig.3- 68 $\Delta h_s$ (mm/year)	102
Fig.3- 69 $\Delta h$ (mm/year)	103
Fig.4- 1 2000 m 深における海面高度変化。赤が上昇、青が下降を示す。 ....	110
Fig.4- 2 TEOS-10 によって計算した海面水位変化と EOS-80 によって計算した海面水位変化の差。(a) 水温変化によるもの、(b) 塩分変化によるもの、(c) 両者の和。コンター間隔は Fig4-1 とは異なることに注意。 ....	112
Fig.4- 3 2000 m 深における TEOS-10 による海面水位変化と EOS-80 による海面高度変化 $\Delta h$ (mm/year) の差。横軸は海盆番号。 ....	113
Fig.4- 4 TEOS-10 で計算した温度変化にかかる $\alpha$ の 2000 m 深における塩分依存性。温度は平均値とし、塩分は本研究であつかった 2000 m 深での範囲とした。 ....	115
Fig.4- 5 Fig.4-4 と同じ。ただし、塩分の範囲を 20 から 40 とした。 ....	115
Fig.4- 6 TEOS-10 で計算した温度変化にかかる係数 $\alpha$ の 2000 m 深における温度依存性。塩分は平均値とし、水温は本研究であつかった 2000 m 深での温度の範囲とした。 ....	116
Fig.4- 7 Fig.4-6 と同じ。ただし、温度の範囲を 0 °C から 30 °C とした。 ....	117
Fig.4- 8 TEOS-10 で計算した塩分変化にかかる係数 $\beta$ の 2000 m 深における塩分依存性。水温は平均値とし、塩分は本研究であつかった 2000 m 深での範囲とした。 ....	117
Fig.4- 9 Fig.4-8 と同じ。ただし、塩分の範囲を 20 から 40 とした。 ....	118
Fig.4- 10 TEOS-10 で計算した塩分変化にかかる係数 $\beta$ の 2000 m 深における温度依存性。塩分は平均値とし、水温は本研究であつかった 2000 m 深での温度の範囲とした。 ....	119
Fig.4- 11 Fig.4-10 と同じ。ただし、水温の範囲を 0 °C から 30 °C とした。 ....	120
Fig.4- 12 EOS-80 で計算した水温変化にかかる係数 $\alpha$ の 2000 m 深における塩	

分依存性。水温は平均値とし、塩分は本研究であつかった 2000 m 深での範囲とした。 .....	121
Fig.4- 13 Fig.4-12 と同じ。ただし、塩分の範囲を 20 から 40 とした。 ....	121
Fig.4- 14 EOS-80 で計算した塩分変化にかかる係数 $\beta$ の 2000 m 深における塩分依存性。水温は平均値とし、塩分は本研究であつかった 2000 m 深での範囲とした。 .....	122
Fig.4- 15 Fig.4-14 と同じ。ただし、塩分の範囲を 20 から 40 とした。 .....	123
Table2- 1 各観測線のデータ .....	14
Table2- 2 1994 年の観測のイベントファイル .....	18
Table2- 3 データファイルの 1 例.....	19
Table3- 1 2000 m 深における海面高度変化 .....	36
Table3- 2 3000 m 深における海面高度変化 .....	39
Table3- 3 4000 m 深における海面高度変化 .....	42
Table3- 4 5000 m 深における海面高度変化 .....	45
Table3- 5 2000～3000 m 深における海面高度変化.....	48
Table3- 6 3000～4000 m 層における海面高度変化.....	51
Table3- 7 4000～5000 m 層における海面高度変化.....	54
Table3- 8 2000 m 深での温度変化による海面高度上昇 $\Delta h_T$ 、塩分変化によるものの $\Delta h_S$ 、その和 $\Delta h$ .....	89
Table3- 9 本研究及び Purkey & Johnson (2010) の計算結果比較表 .....	92
Table3- 10 16 区分での海面高度上昇 (mm/year) .....	95
Table3- 11 25 区分での海面高度上昇 (mm/year) .....	98
Table3- 12 36 区分での海面高度上昇 (mm/year) .....	101
Table4- 1 TEOS-10 および EOS-80 で計算した各海盆の 2000 m 深における海面水位変化。 $\Delta h_T$ は温度変化による海面水位変化、 $\Delta h_S$ は塩分変化による海面水位変化、 $\Delta h$ はそれらの和を示す。単位は mm/year。 .....	109
Table4- 2 各海盆における TEOS-10 によって計算した海面水位と EOS-80 によって計算した海面高度変化の差 (TEOS-10-EOS-80) と割合 ((TEOS-10-EOS-80)/TEOS-10)。温度変化による海面高度変化の差 ( $\delta h_T$ )、塩分変化による海面高度変化の差 ( $\delta h_S$ )、両者の和 ( $\delta h$ ) を割合とともに記載。 ....	111
Table4- 3 TEOS-10 と EOS-80 による温度変化にかかる係数 $\alpha$ 、塩分変化にかかる係数 $\beta$ 、2 回の観測の温度の差 $\Delta T$ 、塩分の差 $\Delta S$ 、一回目の観測の水温、塩分の平均。塩分については TEOS-10 は絶対塩分、EOS-80 については実用塩分で記載。 .....	113

# 1章 緒言

## 1-1 背景

### 1-1-1 地球温暖化

近年、地球表面の平均的な温度上昇という地球温暖化などの気候変動問題が深刻化してきているという現状がある。

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC : 気候変動に関する政府間パネル) は 1988 年に WMO (世界気象機関) と UNEP (国連環境パネル) の下に設立された。この目的は、「人為的な気候変動のリスクに関する最新の科学的・技術的・社会経済的な知見をとりまとめて評価し、各国政府にアドバイスする」ということである。

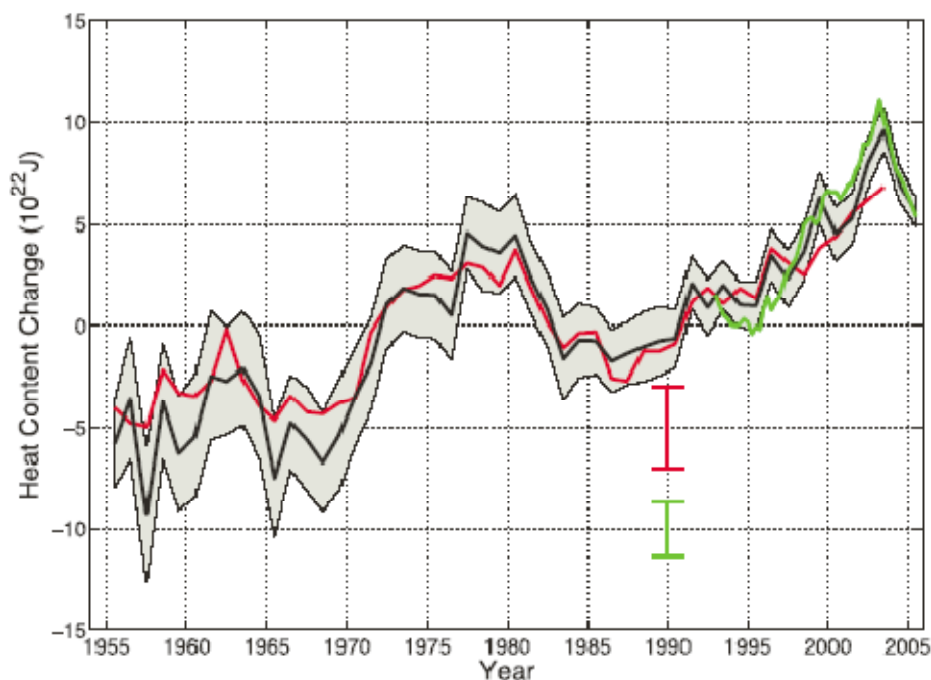
IPCC では、これまでに 4 回の評価報告書、即ち First Assessment Report (FAR, 1990)、Second Assessment Report (SAR, 1995)、Third Assessment Report (TAR, 2001, 4th Assessment Report (AR4, 2007) が提出されている。

このうち、IPCC AR4 では、地球温暖化の原因に対する見解として、人為起源温室効果気体の増加により 20 世紀後半の世界平均気温の上昇のほとんどがもたらされた可能性がかなり高いとされている。実際に、地球の平均気温は上昇傾向を示しており、1906 年～2005 年の 100 年間で  $0.74^{\circ}\text{C}$  (誤差は $\pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ) 上昇している。また、これに起因すると見られる、海面水位の上昇や気象の変化が観測され、生態系や人類の活動への悪影響が懸念されている。

### 1-1-2 海面水位上昇

IPCC AR4 の中で気候変動と関連して、海洋観測から判明したこととして挙げられている項目を整理すると、以下の通りである。

- ・ 観測網が整備され、水温や海面水位の変化を以前より精度よく検出可能になった。
- ・ 全海洋の 3000 m までの平均水温は上昇しており、海が地球の気候システムに加えられた熱の 80% 超を吸収している。
- ・ 表面から 700m までの海洋全体の平均水温は、この数十年間に  $0.1^{\circ}\text{C}$  上昇している。参考として、Fig.1-1 に貯熱量変化を示す。



**Fig.1-1 最近 50 年間で海面から 700mまでの熱量変化（全海洋）**  
 (URL:[http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc\\_ar4\\_wg1\\_ts\\_Jpn.pdf](http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wg1_ts_Jpn.pdf))

・ 海面高度変化は、1961 ～2003 年で+1.8mm /year、1993 ～2003 年では 3.1mm /year で、1993 ～2003 年の上昇のうち約半分は熱膨張によると推定される。Fig.1-2 は海面水位変化の要因の推定の表である。

海面水位上昇の要因	海面水位の上昇率(mm/年)	
	1961～2003	1993～2003
熱膨張	0.42±0.12	1.6±0.5
氷河と氷帽	0.50±0.18	0.77±0.22
グリーンランド氷床	0.05±0.12	0.21±0.07
南極氷床	0.14±0.41	0.21±0.35
海面水位上昇に寄与する個別要因の合計	1.1±0.5	2.8±0.7
観測された海面水位上昇	1.8±0.5 <sup>※1</sup>	3.1±0.7 <sup>※1</sup>
差異(観測値から気候の寄与の推計値の総計を引いたもの)	0.7±0.7	0.3±1.0

**Fig.1- 2 海面高度変化の要因 （IPCC,AR4）**

・ 塩分は、中・高緯度で減少、低緯度で増加傾向。降水と蒸発量の関係の変化を示唆している。

海面高度上昇は社会へ影響を与える。地球温暖化は海面高度変化の上昇を引き起こす。海面水位が上昇する原因は、主に水温の上昇にともなう海水の膨張や、氷床の融解など、真水の流入にともなう海水の増加と考えられている。この影響は塩分の変化

としてあらわれる。

海面高度の上昇によって、海岸浸食、高潮・高波・異常潮位などの沿岸災害の激化、沿岸湿地喪失などによる沿岸生態系・淡水生態系への影響などが起こりうるといわれている。

海面高度上昇は、特に、海拔高度の低い珊瑚礁の島や環礁からなる国にとっては深刻な脅威となる。たとえば、ツバルなどの国土喪失や、日本では防災関連政策の見直しが必要になる。

そのため、将来予測が非常に重要となる。

今後どのように地球表面の平均気温や海面水位が変動しているかを予測するために、現在数値モデルによる予測をしている。しかし、この数値モデルは不確実であるというのが現状である。

シナリオ	気温上昇 (1980～1999年を基準とした 2090～2099年の上昇(℃))※		海面上昇 (1980～1999年を基準とした 2090～2099年の上昇(m))
	最良の 推計値	可能性の幅	モデルに基づく範囲 (氷の融れの急速な力学的変化は除く)
2000年の濃度で一定	0.6	0.3-0.9	資料なし
B1シナリオ	1.8	1.1-2.9	0.18-0.38
A1Tシナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.45
B2シナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.43
A1Bシナリオ	2.8	1.7-4.4	0.21-0.48
A2シナリオ	3.4	2.0-5.4	0.23-0.51
A1FIシナリオ	4.0	2.4-6.4	0.26-0.59

Fig.1-3 気温上昇および、海面高度上昇の将来予測

IPCC AR4 では、今後の人類の生活シナリオを 6 つ仮定して、気温上昇、海面上昇について、それぞれ将来予測を立てている。それがこの Fig.1-3 である。右側にモデルに基づく海面上昇の予測が示されている。例えば B1 シナリオではモデルに基づく範囲が 0.18～0.38 と誤差の幅が大きいことがわかる。このように、現段階では、将来予測には不確実性が大きいことがわかる。

例えばこのモデルの中では最近発見された深層の水温上昇（例えば、Fukasawa et al., 2004）が再現されていない。この実態を調べれば、数値モデルの精度向上に役立つ可能性があると言える。よって、海面高度変化の「機序」を知ることは、このような研究の基礎になり役立つと考えられる。海面高度変化は人工衛星や検潮所から実際の上昇分はわかるが、それが何によるのか、は海洋観測の結果を調べる必要がある。

## 1-2 先行研究

Kawano et al., (2010) では太平洋において、観測線により矩形のボックスを設定し、このボックス内における貯熱量変化、塩分変化を見積もり、さらにそれらの海面高度変化への寄与を調べている (Fig.1-4)。しかし、海盆毎の検討は行われていない。

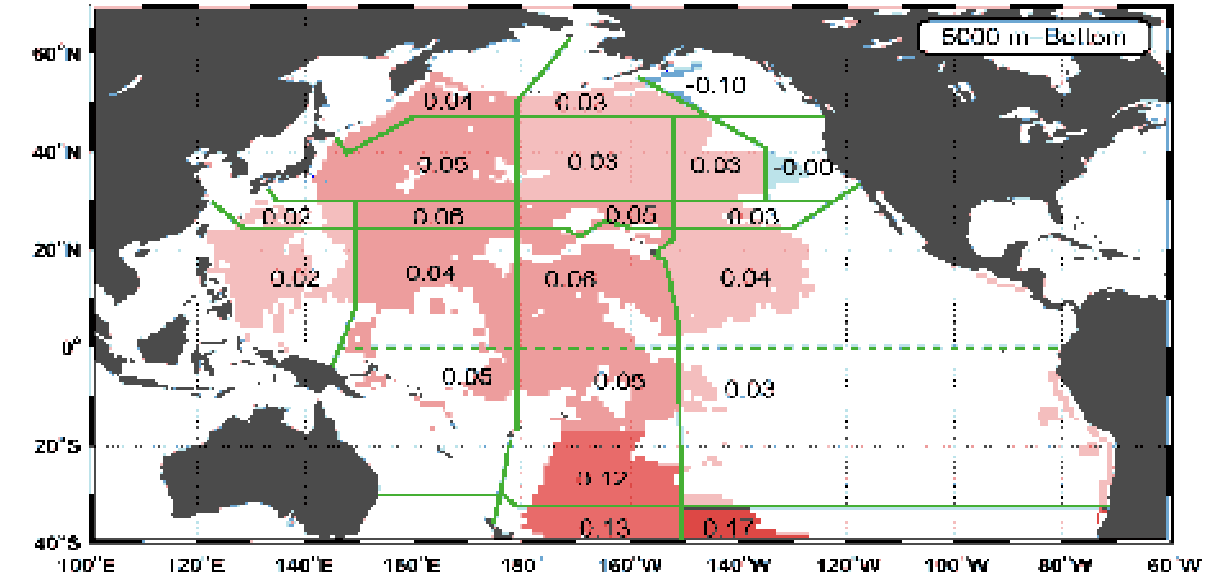


Fig.1- 4 太平洋における 5000 m 以深での海面高度上昇 (mm/year)  
(Kawano et al., (2010))

Purkey and Johnson (2010) は、太平洋、インド洋、大西洋を 4000 m 深の地形によって海盆にわけ、4000 m 以深の貯熱量変化と熱膨張による海面高度変化を見積もっている (Fig.1-5)。

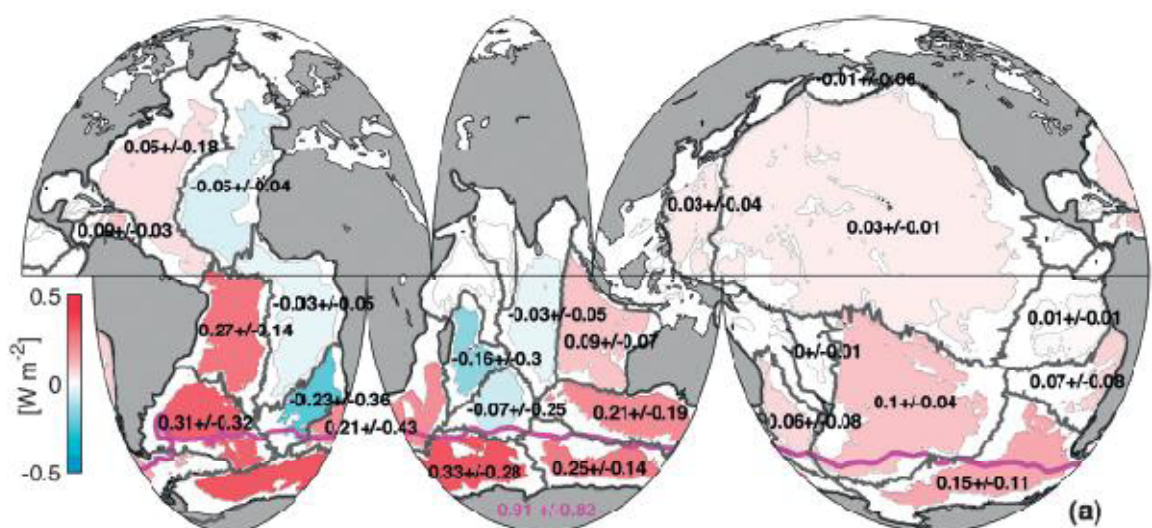


Fig.1- 5 4000 m 以深の貯熱量変化と熱膨張による海面高度変化  
(Purkey and Johnson (2010))



しかし、この研究では塩分を扱っておらず、また 4000 m 以深でしか計算していない。また、北太平洋の区分が大きすぎて、北太平洋における海面高度変化の特徴がつかめない。

Kouketsu et al., (2011) は、太平洋、インド洋、大西洋を観測線による矩形のボックスにわけ、各層における貯熱量・塩分変化を見積もり、海面高度変化への寄与を見積もっている (Fig.1-6)。

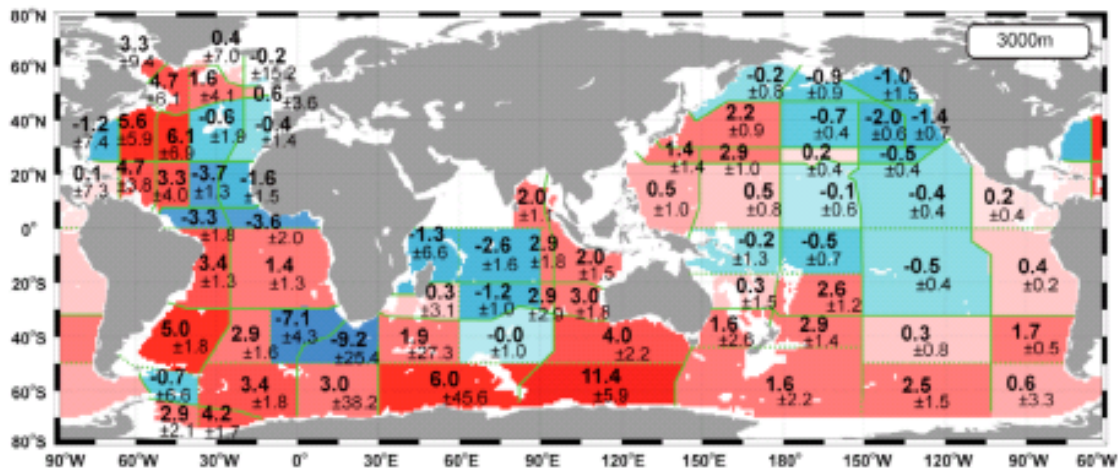


Fig.1- 6 3000 m 以深での貯熱量、塩分変化による海面高度変化  
(Kouketsu et al., (2011))

しかし、各層における詳細な記述がない。

それぞれの先行研究の成果の特徴をまとめると以下の通りとなる。

- (1) 矩形メッシュ各層貯熱量・塩分太平洋のみ
- (2) 海盆ごと 4000 m 以深貯熱量のみ太平洋・インド洋・大西洋
- (3) 矩形メッシュ各層貯熱量・塩分太平洋・インド洋・大西洋

これらの研究をみると、海の分け方としては、メッシュに切る方法と海盆に切る方法の 2 種類がある。矩形メッシュで海洋を区分した場合 (Kawano et al., 2010; Kouketsu et al., 2011)、何らかのパターンが見えるが、これがどういう意味を持つのか、については、必ずしも明確とは言えない。一方、Purkey and Johnson (2010) は海盆ごとに区分している。深層の流れは海底地形によるので海底地形によって区分することが妥当と考えられる。この絵で見られるパターンは、「海盆毎の特徴」として解釈することができる。そこで今回の研究では、太平洋においてこれらの長所を取り入れ Purkey and Johnson (2010) の海盆を参考に、また各層の海面高度変化への寄与を調べることにした。

### 1-3. 研究目的

海面高度が上昇する理由は、海洋の体積が増えるからである。体積をふやすためには質量そのものを増やす（陸から真水を注入する）か、熱で膨張させる、かである。前者は塩分変化となってあらわれ、後者は温度変化そのものである。本研究では、熱膨張、真水の流入（塩分変化）を考慮してステリックハイトの変化を計算する。そして、最新のデータを取り入れ、海盆ごとに各層において、水温変化と塩分変化を評価し、海面高度変化への寄与を見積もりなおす、という研究を行う。これによって海洋内部の特に深層部分における熱・塩分の長期的な変化の様相が明らかとなり、近年発見された深層の水温上昇やまた塩分変化が、海面高度変化にどのように寄与しているかの知見を得ることを目的とする。これによりモデルによる海面高度上昇予測精度の改善に寄与することが期待される。



## 2 章 解析方法

### 2-1 観測線

近年では、Argo フロートと呼ばれるような漂流ブイによって海洋表層を詳しく観測することが可能となっているが、2000 m より深い部分の観測は、未だに船舶観測によるものしかない。そこで、本研究では、2000 m 以深を深層と考え、そこでの水温・塩分変化が海面高度変化にあたえる影響を調べることにした。

全球規模での深層を含む船舶観測は、国際共同によって実施されている。1990 年から 1998 年には、世界気候変動研究計画（WCRP）の一環として、気候変動予測に使える海洋大循環モデルの開発、海洋循環の実体把握、モデルを検証するために必要なデータ収集を目的として、世界海洋大循環観測研究計画（World Ocean Circulation Experiment: WOCE）が実施された。このプロジェクトには、先進国のほかにも 30 カ国以上が参加しており、全球で東西及び南北において観測線を決め、表面から海底までの海洋観測を行っている（河野、2010）。

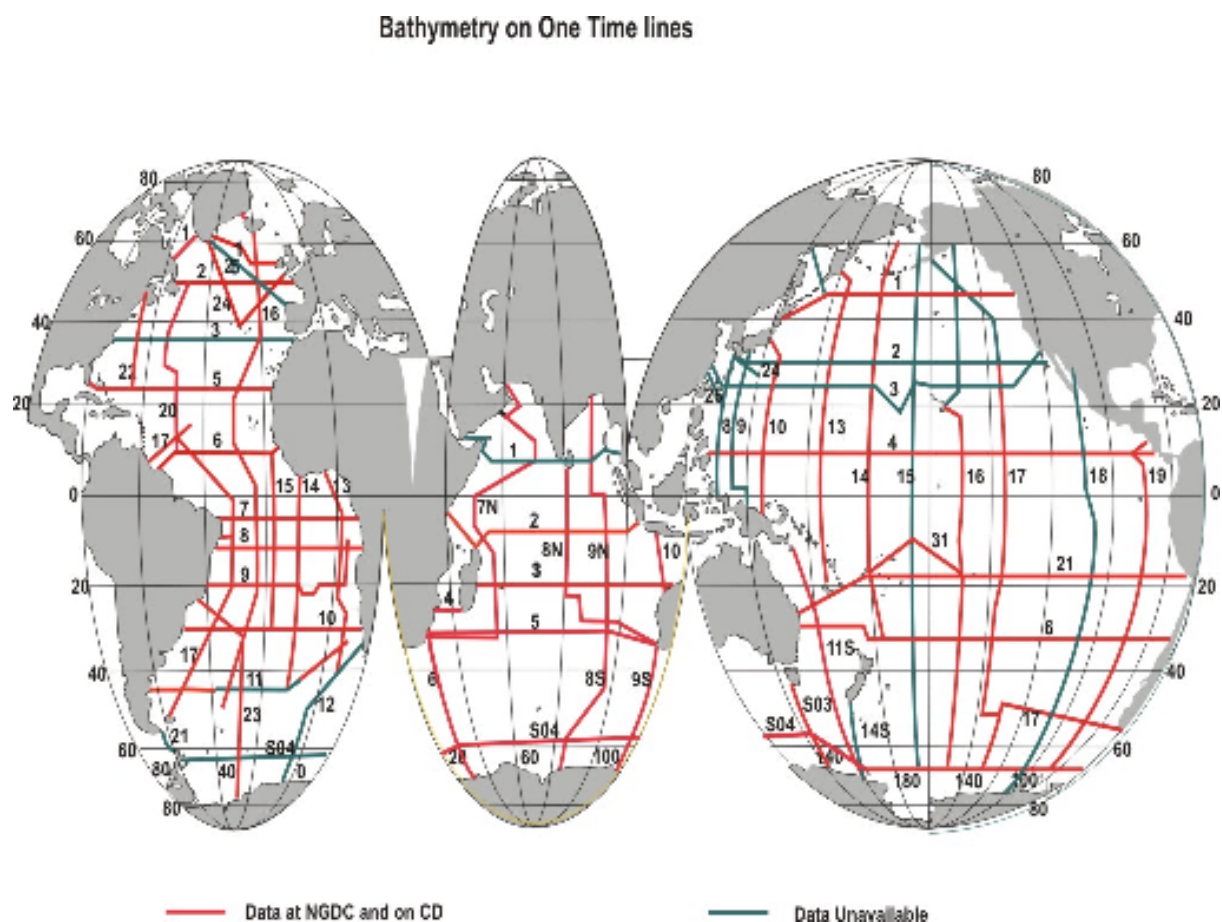


Fig.2- 1 WOCE Hydrographic Program の観測線

（[http://woce.nodc.noaa.gov/woce\\_v3/wocedata\\_2/bathymetry/default.htm](http://woce.nodc.noaa.gov/woce_v3/wocedata_2/bathymetry/default.htm) より）  
1990 年から 1998 年の間に、日本、アメリカなど先進国を中心に 30 カ国以上が参加し、陸から陸まで、表面から海底までの詳細な観測が実施された。ここに示された観測線のうち赤で示されている測線については「再観測」が計画されている。

計測項目としては、水温・塩分・溶存酸素・栄養塩類（リン酸塩、硝酸塩、ケイ酸塩）などがある。また、観測項目ごとにその時点で最良と思われる観測精度を目標として設定している。観測内容を説明するためのレポートの記述内容についても方針が示され（Joyce and Corry, 1994）、各観測項目の責任者は観測および分析手法を明記して観測精度を明らかにし、かつ観測精度をどのように見積もったかも記述するように求められた。また、観測精度維持のため、海水の分取に用いる瓶、保存の方法、保存期間などについて詳細に記述されたマニュアル（WOCE Operations Manual, 1994）も作られている。

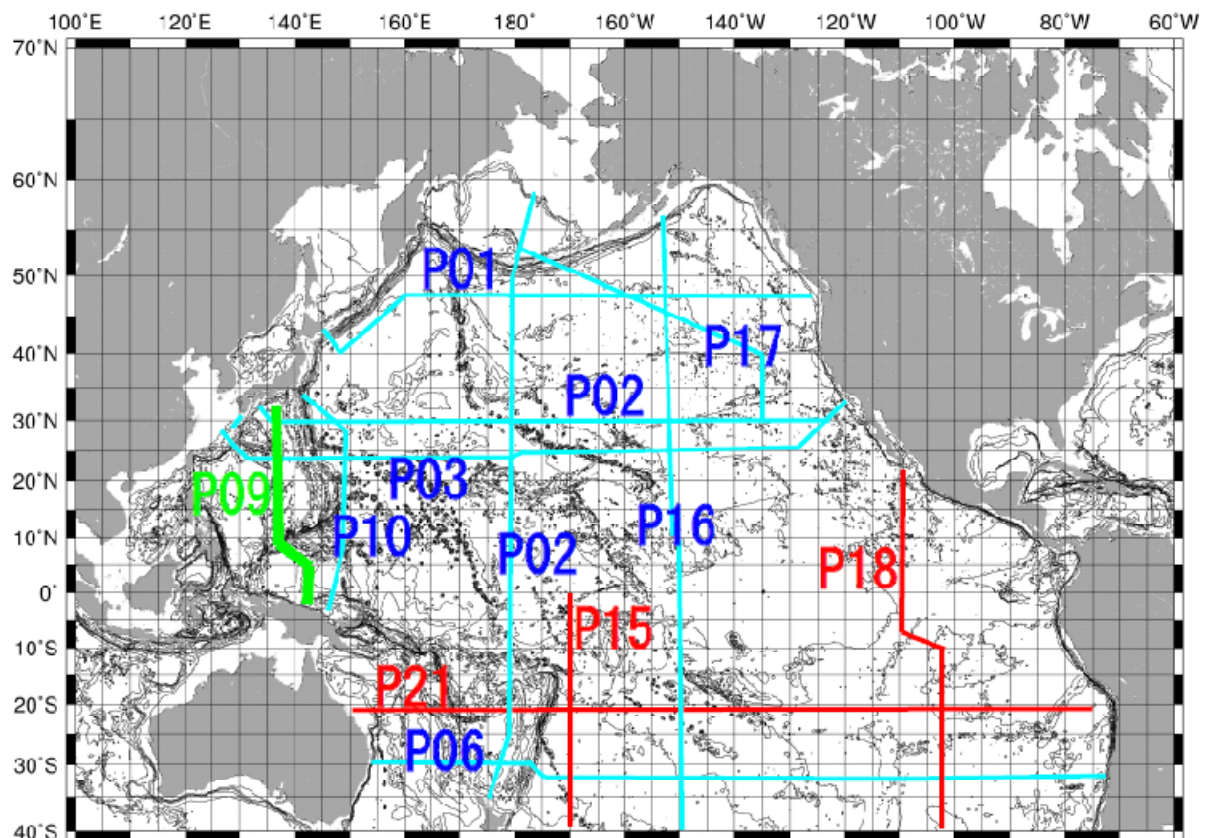


Fig.2- 2 Observation line

本研究での観測線 14 本。水色の観測線は Kawano et., al （2010） で使われているデータ 、赤は Kouketsu et al., （2011） から使われているデータ、緑が本研究で新しく取り入れた観測線である

Fig.2-2 は、その中でも、太平洋において、概ね 10 年ないし 15 年の間隔で 2 回以上の観測がなされてる観測線を抜き出したものである。水色の観測線は Kawano et al., （2010） で使われているデータ 、赤は Kouketsu et al., （2011） で使用されているデータを示す。本研究ではさらに最新のデータ（緑）をとりいれ、合計の 14 本のデータセットを用いて研究を行う。Table2-1 は各観測線の 1 度目の観測年月、2 度目の観測年月、および観測期間（年）を示した表である。

Table2- 1 各観測線のデータ

	1. WOCE		2. Revisit		
	year	month	year	month	period (year)
P01	1985	8	1999	8	14
P02	1994	1	2004	8	10.58333
P03	1985	6	2005	12	20.5
P06	1992	7	2003	9	11.16667
P09	1994	8	2010	8	15
P10	1993	10	2005	6	11.66667
P14C	1992	9	2007	12	15.25
P14N	1993	8	2007	11	14.25
P15S	1996	2	2009	2	13
P16S	1991	8	2005	2	13.5
P16N	1991	3	2006	3	15
P17	1993	7	2001	8	8.083333
P18	1994	4	2008	1	13.75
P21	1994	5	2009	5	15

## 2-2 データ処理

### 2-2-1 生データについて

前節で述べたように、本研究では新たに P09 (Fig2-3,4 参照) をデータベースから発掘し、データを第 2-3 節で述べる計算プログラムで使えるようなデータセットに加工した。加工には、既存のプログラムパッケージ (土居 (JAMSTEC), personal communication) を用いた。この土居のプログラムパッケージに適合するよう、データベースからダウンロードした生データを修正した。

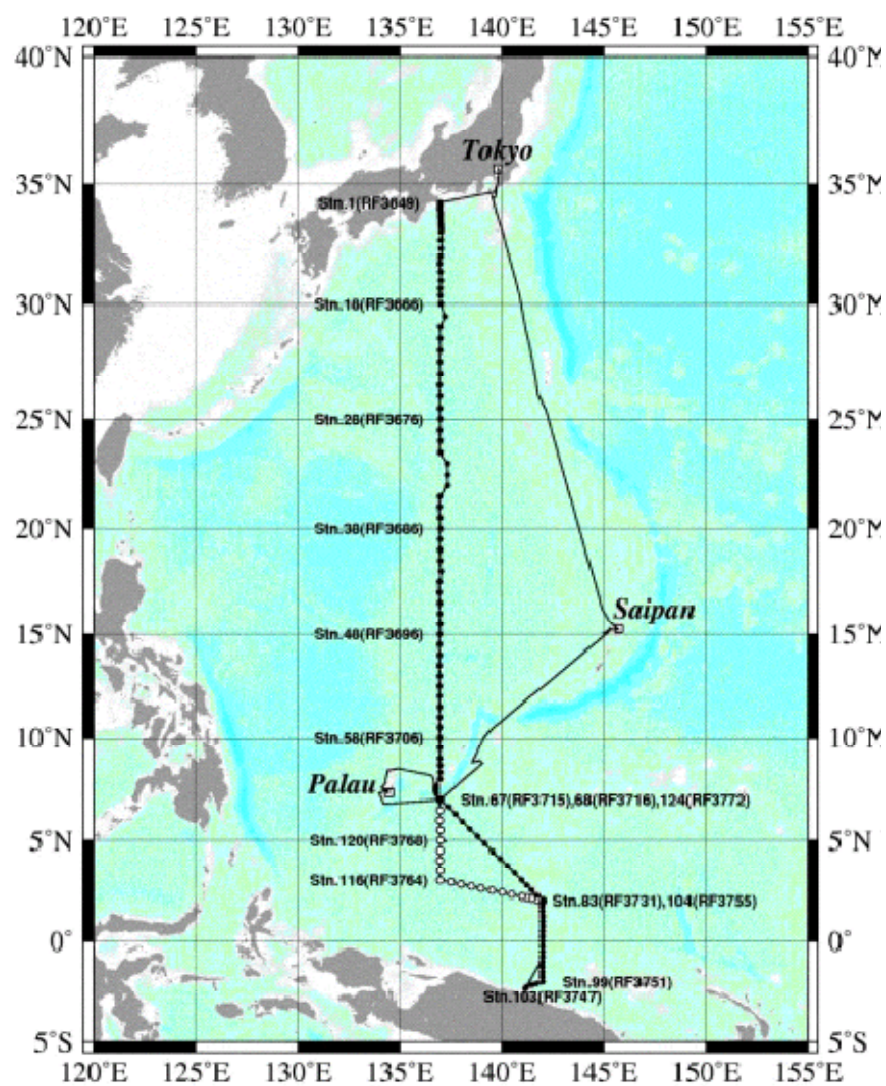
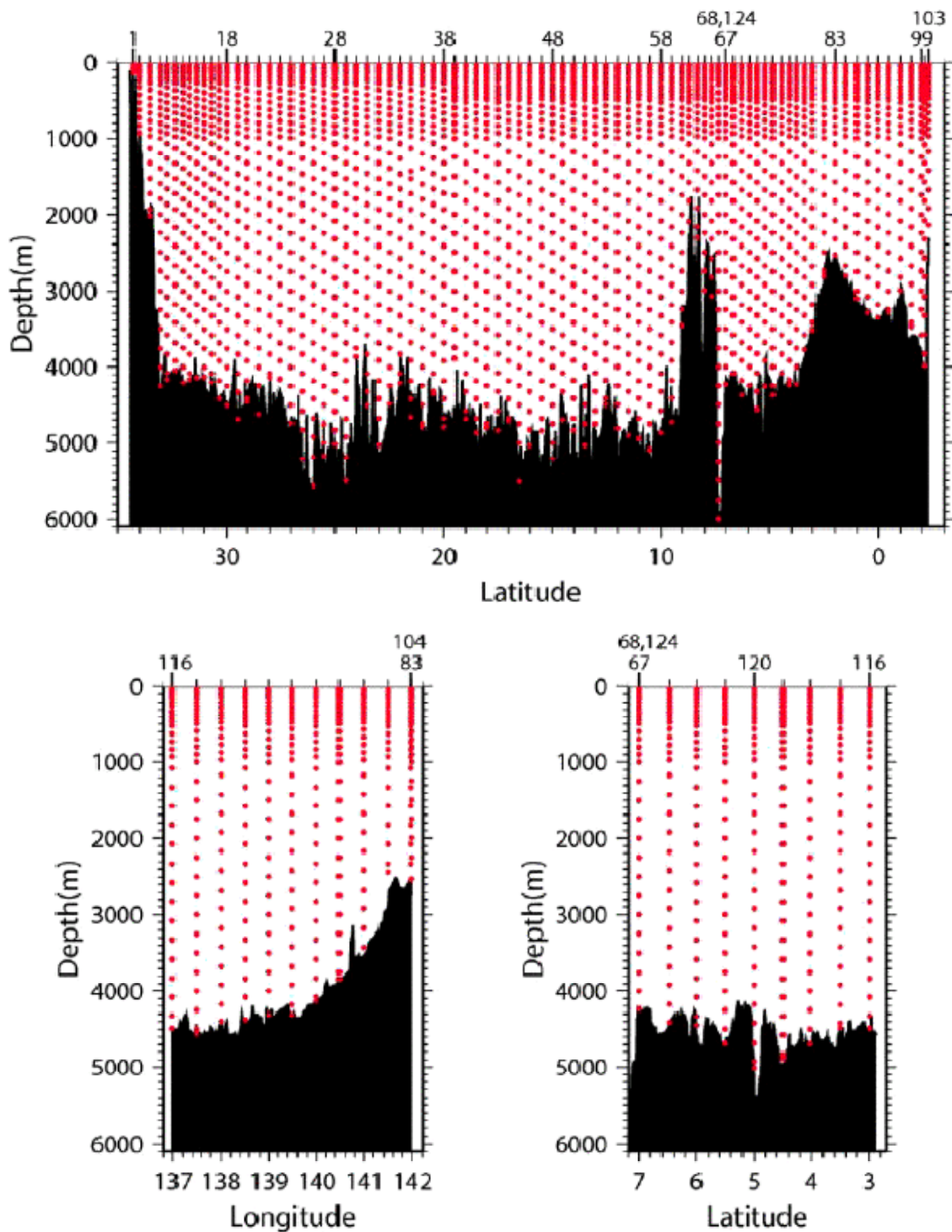


Fig.2- 3 Cruise track of RF10-05 (P09 CRUISE REPORT 参照)  
2010 年に行われた観測での観測点の位置を示している。





**Fig.2- 4 The bottle depth diagram for WHP-P9 revisit.**  
 (P09 CRUISE REPORT 参照) P09 の観測線での海水面から海底までの採水点を表した図

データベースとは、CCHDO、即ち CLIVAR & Carbon Hydrographic Data Office (CCHDO の URL : <http://cchdo.ucsd.edu/>) のことで、船舶観測による品質のよいグローバルデータを提供しているデータセンターである。ここで用いられているデータは、WOCE (World Ocean Circulation Experiment)、CLIVAR (Climate

Variability and Predictability) など、多くの海洋研究プログラム中で観測されたものである。形式としては、WHP – Exchange、WOCE 、netCDF の 3 つがある。

新たに発掘した P09 に関しては、この CCHDO の HP よりデータをダウンロードし用いた。また、WOCE の航海レポートが Text 形式および、PDF 形式でアップロードされている

([http://cchdo.ucsd.edu/data\\_access/show\\_cruise?ExpoCode=49UP20100706](http://cchdo.ucsd.edu/data_access/show_cruise?ExpoCode=49UP20100706))。

#### CRUISE SUMMARY INFORMATION

WOCE Section Designation	P09
Aliases	RF 10-05
Expedition designation (ExpoCodes)	49UP20100706
Chief Scientists	Toshiya NAKANO
Dates	Leg 1: 6 July 2010-28 July 2010 Leg 2: 1 August 2010 - 22 August 2010
Ship	R/V <i>Ryofu Maru</i>
Ports of call	Leg 1: Tokyo - Palau, Leg 2: Palau - Saipan
Geographic Boundaries	34°14'N 136°59'E 141°59'E 2°19'S
Stations	124
Floats and drifters deployed	0
Moorings deployed or recovered	0

Chief Scientist:

Toshiya NAKANO

Marine Division • Global Environment and Marine Department • Japan Meteorological Agency (JMA)

1-3-4, Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8122, JAPAN

Phone: +81-3-3212-8341 Ext. 5163 • FAX: +81-3-3211-6908 • Email: nakano\_t@met.kishou.go.jp

**Fig.2- 5 Cruise summary information (P09 CRUISE REPORT 参照)**

**2010 年に行われた観測の詳細のまとめ**

1994 年のデータの詳細については公開されているデータの sum ファイルを用いた。このファイルを「イベントファイル」と呼ぶ。以下の表はその一部である

Table2- 2 1994 年の観測のイベントファイル

([http://cchdo.ucsd.edu/data\\_access/show\\_cruise?ExpoCode=49RY9407\\_1,WOC E,SUM](http://cchdo.ucsd.edu/data_access/show_cruise?ExpoCode=49RY9407_1,WOC E,SUM) - ASCII station/cast information より)。

R/V	RYOFU	MARU	WHP-ID	P09	19980914WHPOSIOSA								
SHIP/CRS	WOCE	CAST	UTC	POSITION	UNC	COR	ABOVE	WIRE	MAX	NO.			
EXPOCODE	SECT	STNNBR	CASTNO	TYPE	DATE	TIME	CODE	LATITUDE	LONGITUDE	NAV			
49RY9407	P09	1	1	ROS	70894	1649	BE	34	15.02	N			
49RY9407	P09	1	1	ROS	70894	1658	BO	34	15	N			
49RY9407	P09	1	1	ROS	70894	1712	EN	34	14.98	N			
49RY9407	P09	2	1	ROS	70894	1829	BE	34	6.56	N			
49RY9407	P09	2	1	ROS	70894	1848	BO	34	6.46	N			
49RY9407	P09	2	1	ROS	70894	1920	EN	34	6.37	N			
49RY9407	P09	3	1	ROS	70894	2108	BE	34	0.03	N			
49RY9407	P09	3	1	ROS	70894	2127	BO	34	0.1	N			
49RY9407	P09	3	1	ROS	70894	2153	EN	34	0.26	N			

OF										
DEPTH	DEPTH	BOTTOM	OUT	PRESS	BOTTLES	PARAMET	COMMENTS			
137	0.04	E	GPS	145						
137	0.14	E	GPS	150	5	147	149	8	1月6日	
137	0.27	E	GPS	155						
136	59.86	E	GPS	1220						
136	59.54	E	GPS	1170	6	1172	1177	17	1月6日	
136	59.13	E	GPS	1120						
136	59.37	E	GPS	1010						
136	59.15	E	GPS	1010	20	991	977	16	1-6,12,23	
136	58.98	E	GPS	1000						

ここには、観測線番号、観測点 No.、キャスト No.、タイプ、日付、時間、緯度、経度、深さ、圧力、ボトル No.などが示されている。Table2-2 を見ると、同一地点に 3 つの観測があり、それぞれ BE,BO,EN と番号が付いている。これは、ある観測点で、CTD 観測の開始 (BE)、海底上で停止 (BO)、観測終了 (EN)、その他のイベント (UN) などが全て記録してあるからである。本研究では 1 測点につき 1 個の情報が あればよいので、EVENT CODE が"BO"の情報をその測点の代表として採用する。これは最大圧力 (圧力データの最大値) を選ぶことにもなる。

2 回目 (2010 観測) の観測では、まだ sum ファイルが公開されていないので、Exchange CTD - ZIP archive of ASCII .csv CTD data with station を用いた。ここでは、各観測地点での情報が、Exchange と NetCDF 方式でそれぞれアップロードされている。本研究では csv 方式で保存された Exchange のデータを用いた。ここには、観測点ごとに 1 つの csv ファイルがあり、その中に観測点ごとの情報が入っている。これがいわゆる「生」データである。これを「データファイル」と呼ぶ。Table2-3 にその 1 例を示す。冒頭に、ファイル名、観測線名、観測日、緯度、経度、深さのデータが示されており、その下にデータが続く。データは 1dbar ごとに、圧力 (DBAR)、温度、塩分、溶存酸素、栄養塩類 (リン酸塩、硝酸塩、ケイ酸塩) とそれぞれに関する QC (quality control) フラグがある。

ここで QC フラグについて説明する。QC フラグとは、観測データの品質管理の方法で、科学的に立証された、信頼できる、一貫した学術調査船データを供給すること

を目的としている。ここでは、WOCE の際に定められた品質管理の方法の詳細を示したハンドブック ((Joyce and Corry, 1994) に従っている。フラグは 1 から 9 まであり、

- 1 = Not calibrated.
- 2 = Acceptable measurement.
- 3 = Questionable measurement.
- 4 = Bad measurement.
- 5 = Not reported.
- 6 = Interpolated over >2 dbar interval.
- 7 = Despiked.
- 8 = Not assigned for CTD data.
- 9 = Not sampled.

を表している。

**Table2- 3 データファイルの 1 例**

CTD 20101117JMAMDNT  
 #original CTD file: RF3649\_1.ctd Thu Nov 17 03:05 2010  
 NUMBER\_HEADERS = 10  
 EXPOCODE = 49UP20100706  
 SECT\_ID = P09  
 STNNBR = RF3649  
 CASTNO = 1  
 DATE = 20100707  
 TIME = 0017  
 LATITUDE = 34.2475  
 LONGITUDE = 136.9912  
 DEPTH = 154

CTDPRS DBAR	CTDPRS_ FLAG_W	CTDTMP ITS-90	CTDTMP_ FLAG_W	CTDSAL PSS-78	CTDSAL_ FLAG_W	CTDOXY UMOL/KG	CTDOXY_ FLAG_W	SCANS
1	2	24.2306	4	30.3725	4	222.3	4	-9
2	2	24.195	3	30.8267	3	222.1	3	11
3	2	24.2008	3	30.8032	3	222.1	3	43
4	2	24.1402	3	31.0658	3	222	3	44
5	2	24.0829	3	31.3245	3	222	3	52
6	2	23.9365	3	31.8943	3	222.2	3	35
7	2	23.9514	3	31.8297	3	222	3	32
8	2	23.8843	3	32.0681	3	222.2	3	50
9	2	23.7456	3	32.4812	3	221.9	3	59
10	2	23.472	2	33.0362	2	222.6	2	42
11	2	23.3092	2	33.2003	2	223.4	2	58
12	2	22.9964	2	33.3722	2	223.9	2	36
13	2	22.1739	2	33.6535	2	225.6	2	28
14	2	21.0881	2	33.9419	2	232	2	50



### 2-2-2 観測点の抽出

次に、1994 年（1 回目）と 2010 年（2 回目）のイベントファイルから、2 回とも同じ場所で観測されている点を選び出す。これは両者の観測点を緯度と経度に対してプロットして比較することで行った（Fig.2-6,7）。

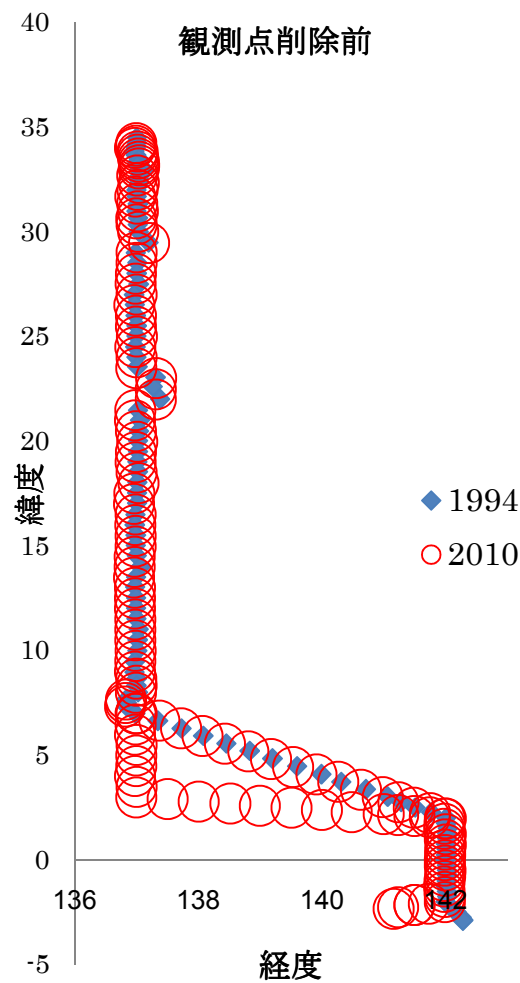


Fig.2- 6 観測点整理前  
1994 年および 2010 年の観測点を単純にプロットした図

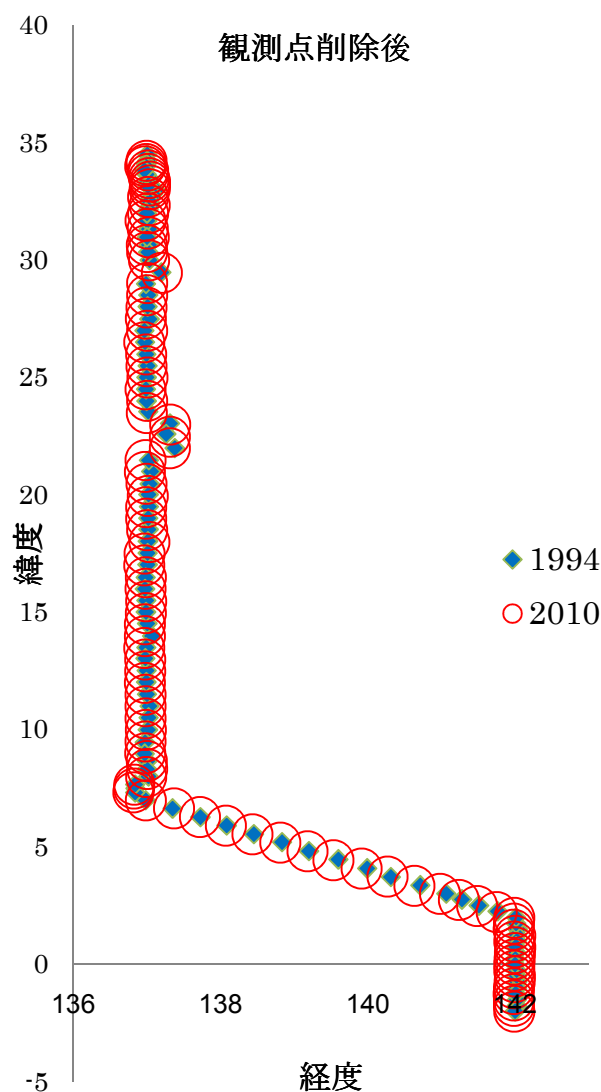


Fig.2-7 観測点整理後

1994 年および 2010 年の観測点のうち、2 回とも観測データがあるものを抽出したもの

次に、イベントファイルを再加工し、必要なデータのみを抽出したファイルを作成する。ここで作られるファイルには、ヘッダー部分に各観測点のデータのファイル名、その下に、観測点数、さらに、観測線番号、観測点 No.、緯度、経度、深度、圧力が格納されているファイルを作成する。

### 2-2-3 塩分の補正

次に、塩分の補正值を与える。

海水の塩分は、1kg 中に 32.4356g の塩化カリウムを含む溶液（PSS78 Practical Salinity Scale：実用塩分スケール、定義溶液）と海水との 15℃、1 気圧における電気伝導度比から計算される（海洋観測指針、1999）。塩分は 0.001（PSS78）の精度が求められるが、複数の観測航海で取得されたデータを集めて扱うため、個々の観測航海における塩分の測定精度に加え、塩分を計測する装置自体に起因するもの、使

用した採水器の違いによるもの、海水を採取してから分析するまでの保存期間の問題など、系統的な誤差についても考える必要がある。電気伝導度比を測定する機器（塩分計）はほぼ同一のもの、Guildline 社製の Autosal Salinometer 8400B が使用されている（Fig.2-8）。



Fig.2- 8 Guildline 社製の塩分計

（<http://www.osil.co.uk/Products/MarineInstruments/tabid/56/agentType/View/PropertyID/67/Default.aspx>）

使用方法についても指針が示されているので、測定手法の差異による誤差の問題は改善されている一方、標準海水のバッチ間の差が系統的な誤差を産む可能性があると考えられている（河野、2004）。

実際の観測現場では、標準海水と呼ばれるあらかじめ電気伝導度比が示されている海水を使用する。これは、国際海洋科学協会（IAPSO : International Association for Physical Sciences of the Ocean）の公認で、英国の Ocean Scientific International, Ltd.（OSIL）によって供給されており、塩分形の標準化に使われる。標準海水は、北大西洋中央部で採取された海水で、採取後、濾過、有機物分解濃度調整等の処理が行われている。



Fig.2- 9 標準海水

(<http://www.osil.co.uk/Products/SeawaterStandards/tabid/113/agentType/View/PropertyID/47/Default.aspx> より)  
OSIL によって供給されている標準海水のびん

そして、PSS78 定義溶液に近い質量分率をもつ塩化カリウム溶液を調製し、この溶液を基準として標準海水の製造バッチごとに電気伝導度比を測定し、ラベルに記載してビンにつめて販売している (Fig.2-9)。ここで製造バッチとは、標準海水の生産時期を明示するための番号のことでありバッチ番号、ロット番号などと呼ばれる。標準海水は販売されている工場生産品であり、ある時、2000 本程度を一度に生産し、これが売れてから、次にまた 2000 本作る、というような生産様式をとっている。そのため標準海水は、製造バッチごとに微妙な違いが生じる可能性がある。

このバッチ間の差を「オフセット」といい、これを用いることで、バッチ間の差を補正する。P09 測線では、1 回目の 1994 年の観測ではバッチ番号 P123 の標準海水が用いられた (P09 Cruise Report)。

2 回目の 2010 年の観測に関しては、実際に気象庁の方に問い合わせてどのバッチ番号を用いたか確認した。「標準海水はバッチ番号 P152 を使い、塩分分析結果の精度は SSW の測定結果及び、duplicate と replicate 採水分析の結果から、塩分値で 0.001 以下とみている」こと、また水温と圧力の測定精度は「圧力については、メーカーキャリブレーション結果を、そのまま使用している (航海前と航海後のキャリブレーションの結果から、航海前後での drift は 6000dbar で 0.07dbar)。水温については、標準水温計 SBE35 を用いてで補正をしており 1mK 以下とみている」との回答をいただいた (中野 (気象庁), personal communication)。

バッチ番号 P123 及びバッチ番号 P152 のオフセット値はそれぞれ、 $-0.6 \times 10^{-3}$ 、 $-0.9 \times 10^{-3}$ である (Table.2-4,河野, personal communication)。

塩分の補正值を与えてイベントファイルを再加工する。ここで作られるファイルには、ヘッダー部分に各観測点のデータのファイル名、その下に、観測点数、さらに、観測線番号、観測点 No.、緯度、経度、深度、圧力が格納されているファイルを作成する。また、ここで、各データファイル中の QC からどれだけのデータが使えるかを計算し、著しく値の小さいもの（80%が一つの基準）をイベントファイルから削除した。

Table2-4. 標準海水のオフセット (河野 (JAMSTEC), personal communication)

Table.6 The latest offset table					
Batch	Date	K15	Salinity	Batch to Batch Difference ( $\times 10^{-3}$ )	
				Mantyla's standard	new reference
P91	10-May-80	1.00007	35.0027	-1.0	0.3
P92	29-Oct-81	0.99988	34.9953	-1.5	-0.2
P93	31-Oct-81	0.99990	34.9961	-0.4	0.9
P94	18-Nov-81	0.99992	34.9969	-0.2	1.1
P95	8-Mar-83	0.99997	34.9988	0.9	2.2
P96	3-Mar-83	1.00006	35.0023	1.2	2.5
P97	3-Mar-83	1.00002	35.0008	0.8	2.1
P98	3-Mar-83	0.99993	34.9973	0.8	2.1
P99	27-Jul-84	0.99997	34.9988	-0.4	0.9
P100	29-Nov-84	1.00003	35.0012	-0.3	1.0
P101	4-Jun-85	1.00002	35.0008	0.5	1.8
P102	29-Nov-84	1.00001	35.0004	0.2	1.5
P103	11-Oct-85	0.99987	34.9949	-0.3	1.0
P104	21-Feb-86	0.99994	34.9977	-0.2	1.1
P105	21-Feb-86	0.99988	34.9953	0.8	2.1
P106	8-Jun-87	0.99989	34.9957	-0.8	0.5
P107	11-Nov-87	0.99991	34.9965	-0.2	1.1
P108	7-Apr-88	0.99980	34.9922	0.4	1.7
P109	7-Apr-88	0.99976	34.9906	0.9	2.2
P110	20-Jul-88	0.99999	34.9996	0.6	1.9
P111	7-Feb-89	0.99982	34.9930	0.8	2.1
P112	4-Jul-89	0.99984	34.9937	0.6	1.9
P113					
P114	30-Jul-90	0.99986	34.9945	0.7	2.0
P115	6-Feb-91	0.99986	34.9945	1.2	2.5
P116	10-Jul-91	0.99981	34.9926	0.1	1.4
P117					
P118	12-Nov-91	0.99994	34.9977	-0.2	1.1
P119	28-Feb-92	0.99990	34.9961	-1.3	0.0
P120	6-Apr-92	0.99985	34.9941	-2.2	-0.9
P121	8-Sep-92	0.99985	34.9941	-0.9	0.4
P122	21-Jan-93	0.99991	34.9965	-0.9	0.4
P123	10-Jun-93	0.99994	34.9977	-0.6	0.7
P124	18-Jan-94	0.99990	34.9961	-0.7	0.6
P125	1-Aug-94	0.99982	34.9930	-1.1	0.2
P126	29-Nov-94	0.99987	34.9949	-0.7	0.6
P127	14-Feb-95	0.99990	34.9961	-0.5	0.8
P128	18-Jul-95	0.99986	34.9945	0.1	1.4
P129	22-Nov-95	0.99996	34.9984	-0.9	0.4
P130	21-Mar-96	0.99997	34.9988	-1.0	0.3
P131	10-Oct-96	0.99986	34.9945	-1.3	0.1
P132	9-Apr-97	0.99993	34.9973	-1.7	-0.4
P133	11-Nov-97	0.99986	34.9945	-1.0	0.3
P134	4-Jun-98	0.99989	34.9957	-1.1	0.3
P135	9-Feb-99	0.99992	34.9969	-1.1	0.2
P136	16-Apr-99	0.99996	34.9984	-1.1	0.3
P137	9-Dec-99	0.99995	34.9980	-1.7	-0.4
P138	7-Feb-00	0.99994	34.9977	-1.4	-0.1
P139	10-Nov-00	0.99993	34.9973	-0.9	0.4
P140	10-Nov-00	0.99991	34.9965	-1.6	-0.3
P141	12-Jun-02	0.99993	34.9973	-1.6	-0.3
P142	14-Nov-01	0.99991	34.9965	-1.1	0.2
P143	26-Feb-03	0.99989	34.9957	-1.5	-0.2
P144	23-Sep-03	0.99987	34.9949	-1.8	-0.5
P145	15-Jul-04	0.99981	34.9925	-2.0	-0.7
P146	12-May-05	0.99979	34.9917	-2.6	-1.3
P147	6-Jun-06	0.99982	34.9929	-1.8	-0.5
P148	1-Oct-06	0.99982	34.9929	-1.1	0.2
P149	5-Oct-07	0.99984	34.9937	-0.3	1.0
P150	22-May-08	0.99978	34.9913	-0.4	0.9
P151	by 20-May-12	0.99997	34.9988	-1.3	0.0
P152	by 5-May-13	0.99981	34.9925	-0.9	0.4

\* offsets newly proposed (expanded from Kawano et al., 2006 in J. Oceanogr.)

#### 2-2-4 データファイルの完成

塩分の補正を行い、使えないデータをはじいたデータファイルをさらに再加工する。ここでは、1dbarごとに圧力 (dbar)、温度 (ITS-90)、溶存酸素 (umol/kg)、塩分 (PSS-78)、深度 (m)、ポテンシャル温度 (°C)、ポテンシャル温度2 (°C)、ポテンシャル温度4 (°C)、密度 (kg/m<sup>3</sup>)、などが格納されているデータファイルが完成する。

#### 2-2-5 データセットの完成

以上のデータファイルを用いて、新旧のデータの水深と位置を揃える。位置は新しい観測点に合わせて、古い観測点を内挿するという方法をとる。

最後に各成分 (1dbar ごとの圧力 (dbar)、温度 (ITS-90)、溶存酸素 (umol/kg)、塩分 (PSS-78)、深度 (m)、ポテンシャル温度 (°C)、ポテンシャル温度 2 (°C)、ポテンシャル温度 4 (°C)、密度 (kg/m<sup>3</sup>)、などについて計算し、これを 100m ごとに平均して、本研究での計算プログラムで使用可能なデータベースを作成した。

### 2-3 解析プログラム

本研究では、海盆ごとに計算する手法を取り入れることにしたので、海盆区分を自由に変えて、計算を実施する必要があることから「計算用のプログラム」を作成した。Fig.2-10 に本研究での解析プログラムのフローチャートを示す。

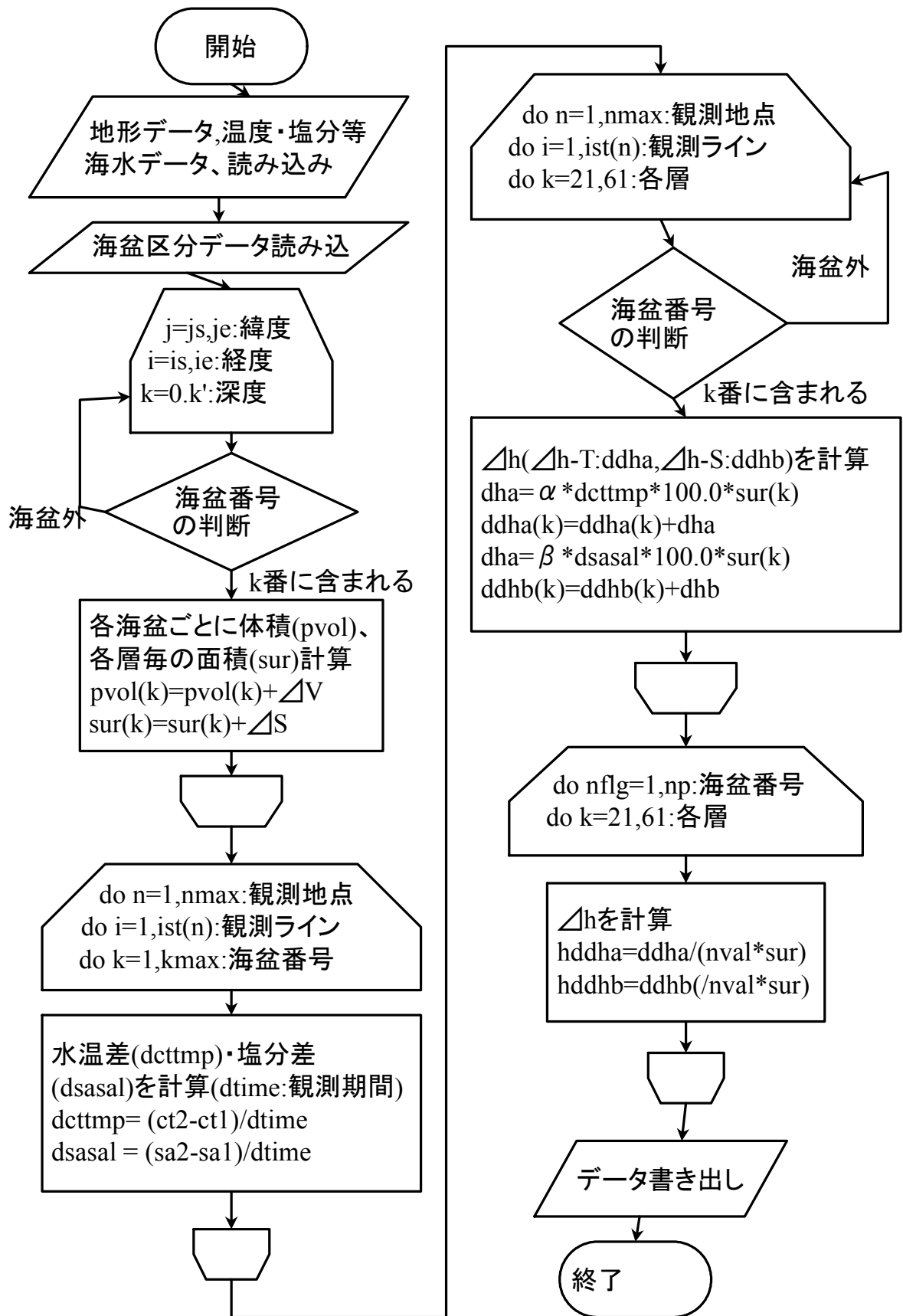


Fig.2- 10 解析プログラムフローチャート  
本研究ではこの解析プログラムフローチャートにのっとって計算した



はじめに地形データ、温度、塩分等の海水データ、海盆区分データを読み込む。  
次に、海盆の内外判定を行い、海盆ごとに、体積、各層ごとの面積を計算する。

ある点が、どの海盆に含まれるのかを判定するための方法としては、「点の位置に立って多角形データを順に眺めていって自分の体が1回転するかどうかを調べる」という方法を採用した (Fig.2-11)。

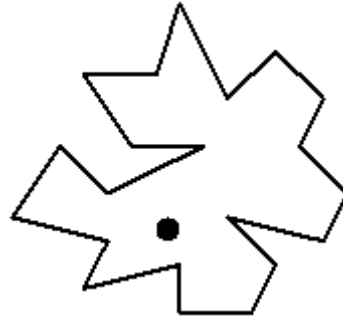


Fig.2- 11 内外判定の図

次に、水温差、塩分差を算出する。

次に、再び海盆の内外判定を行いながら海面高度変化  $\Delta h$  (詳しくは 2-4 節) を計算する、といった流れになっている。。

## 2-4 海水膨張の計算法

海水の質量  $M$  は、第  $k$  層の密度  $\rho_k$ 、層の厚さ  $dz$  (ここでは 100m) を用いて、以下の式で表わされる。

$$M = \rho_k \cdot dz \quad (2-1)$$

ここで、本研究では状態方程式に TEOS-10 を用いる。これは 2010 年に改定されたものである。先行研究では、その前の状態方程式 EOS-80 で計算されている。そこで状態方程式が改訂されたことによる影響の有無を調べるが詳しくは第 4 章で述べる。

本研究では、熱膨張による密度変化  $\Delta\rho_k|_T$  は、海水の熱膨張率を  $\alpha$  とすると、以下の式となる。

$$\Delta\rho_k|_T = -\alpha (S, T, P) \cdot \Delta T \cdot \rho_k \quad (2-2)$$

塩分の変化による密度変化  $\Delta\rho_k|_S$  は、塩分変化による密度の変化率を  $\beta$  とすると、以下の式となる。

$$\Delta\rho_k|_S = \beta (S, T, P) \cdot \Delta S \cdot \rho_k \quad (2-3)$$

ここで、S、T、P はそれぞれ、塩分、水温、圧力を表し、 $\Delta T$ は水温変化、 $\Delta S$ は塩分変化を表す。

水温や塩分の変化による密度の変化から、層厚の変化 $\Delta h_k$ を次式で計算した。

$$\begin{aligned}
 \Delta h_k &= \left( \frac{1}{\rho_k + \Delta \rho_k} - \frac{1}{\rho_k} \right) \cdot M \\
 &= \left( \frac{1}{\rho_k + \Delta \rho_k} - \frac{1}{\rho_k} \right) \cdot \rho_k \cdot dz \\
 &= \left( \frac{\rho_k}{\rho_k + \Delta \rho_k} - 1 \right) \cdot dz \\
 &= \left( \frac{1}{1 + \frac{\Delta \rho_k}{\rho_k}} - 1 \right) \cdot dz \\
 &= \left\{ \left( 1 + \frac{\Delta \rho_k}{\rho_k} \right)^{-1} - 1 \right\} \cdot dz \\
 &= \frac{\Delta \rho_k}{\rho_k} \cdot dz
 \end{aligned} \tag{2-4}$$

よって、熱膨張による層厚の変化 $\Delta h_{kT}$ は、第 k 層において、

$$\Delta h_{kT} = -\alpha (S, T, P) \cdot \Delta T \cdot dz \tag{2-5}$$

塩分の変化による層厚の変化 $\Delta h_{kS}$ は、

$$\Delta h_{kS} = \beta (S, T, P) \cdot \Delta S \cdot dz \tag{2-6}$$

となる。

この各層における層厚の変化が海面高度に及ぼす寄与を計算するため、 $\Delta h_{kT}$ および $\Delta h_{kS}$ に k 層における面積  $A_k$  をかけたものを足し合わせ、最後に観測点数 n および海表面積  $A_0$  で割る。これにより、ある深度での密度の変化が海面での ステリックハイトの変化にあたえる影響を考える。これを本研究では海面高度変化と呼ぶ。

温度の変化による海面高度変化 $\Delta h_T$ は、以下の式で表わされる。

$$\Delta h_T = \frac{1}{n \cdot A_0} \sum \Delta h_{kT} \cdot A_k \tag{2-7}$$

塩分の変化による海面高度変化 $\Delta h_S$ は、以下の式で表わされる。

$$\Delta h_s = \frac{1}{n \cdot A_0} \sum \Delta h_{ks} \cdot A_k \quad (2-8)$$

よって、合計の海面高度変化 $\Delta h$ は、式 2-7,2-8 の和

$$\Delta h = \Delta h_T + \Delta h_s \quad (2-9)$$

となる。

## 2-5 海盆の区分

第 1 章でも述べたが、深層の流れは海底地形によるので海底地形によって区分することが妥当と考えられる。海底地形によって区分することで深層水の温度上昇および、塩分の変化のパターンは、「海盆毎の特徴」として解釈することができる。太平洋深層における熱塩循環は、南極周辺で冷やされた海水が太平洋の海底を北上する、というのが基本的な構造であり、循環の経路によって変化の度合いが違ふことが予想される。そして循環の経路は、海底地形によって決まる。

そこで今回の研究では、先行研究の長所を取り入れ Purkey and Johnson (2010) の海盆を参考にして、太平洋を海盆ごとに区分して研究を行うこととした。

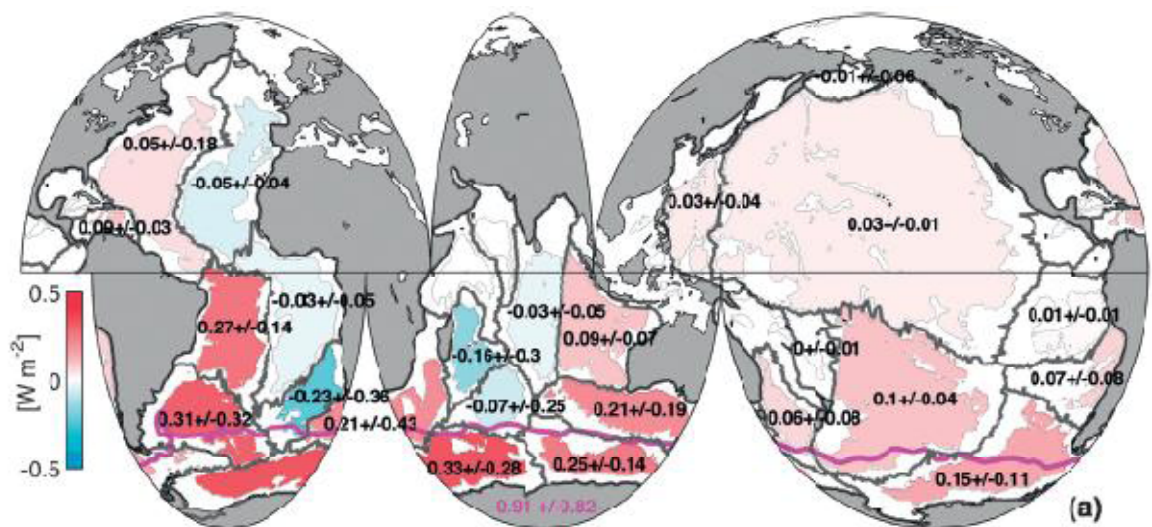
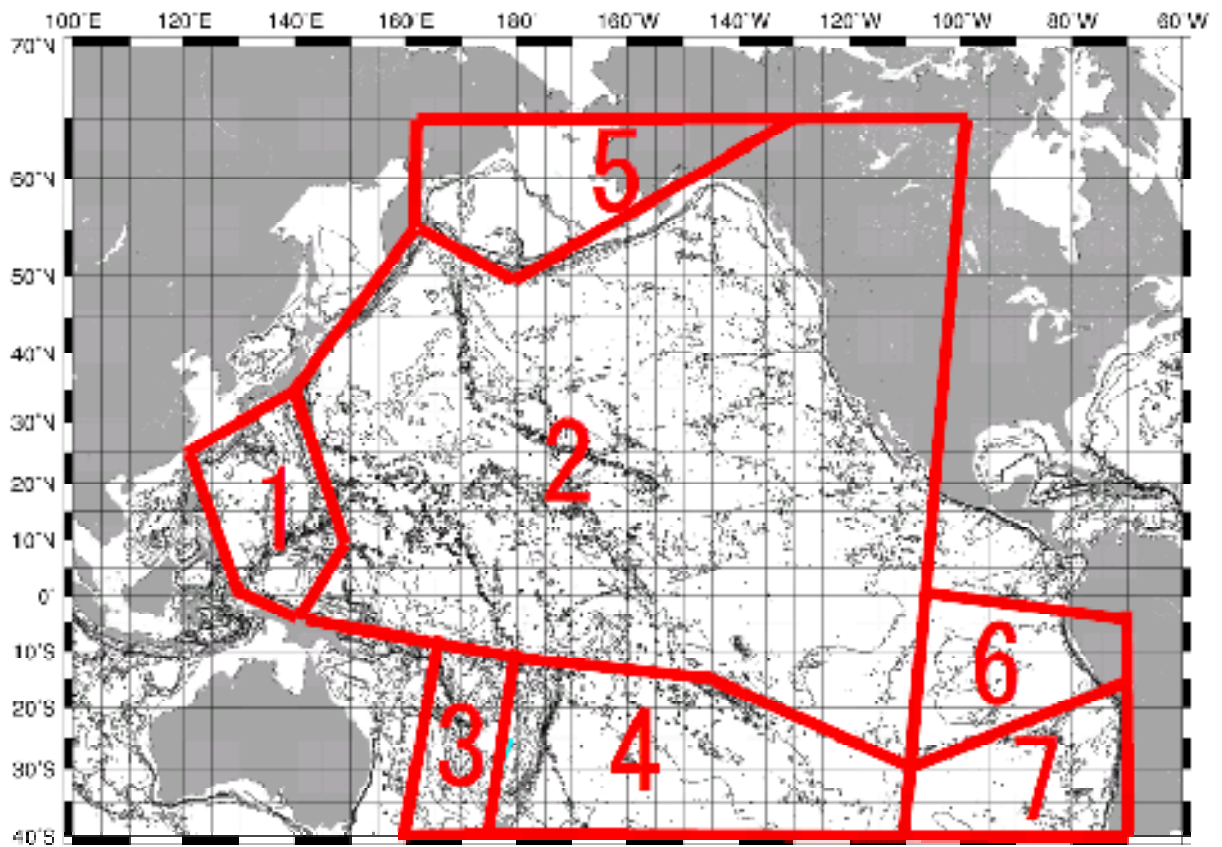


Fig.2- 12 Purkey and Johnson (2010) の海盆区分

この図は、Purkey and Johnson (2010) の研究に用いた海盆区分と貯熱量変化の様子

はじめに、Fig.2-12 の Purkey and Johnson (2010) の図を参考に、太平洋を区分すると Fig2-13 のようになった。



**Fig.2- 13 Purkey and Johnson (2010) を参考にした海盆区分**

この海盆区分を参考に、さらに顕著な海底地形で区分したのが Fig.2-14 である。

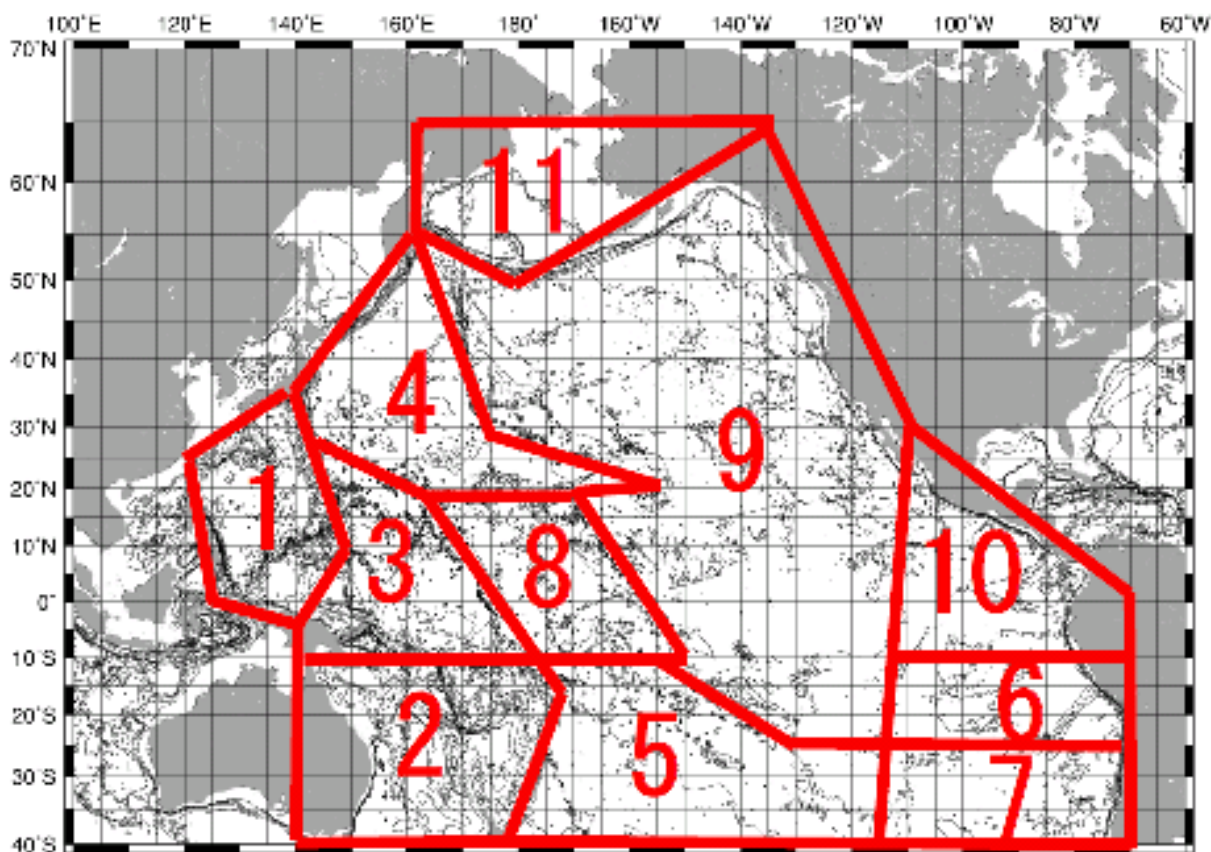


Fig.2-14 海盆区分案 (1)

太平洋には特徴的な深海水路である Samoan Passage と Wake Island Passage がある。ここは非常に細い流路を形成しており、南極周辺域で沈みこんだ海水が太平洋を北上する際、この経路をたどると考えられ、この 2 つの Passage の南と北とでは、そこを通りぬけられる水塊と通り抜けられない水塊が生じるため、水質の差を見るにはここで切った方がいいと考えられる。よって、南北を分ける線として Samoan Passage (Fig.2-14 の海盆 5 と 8 の間) と Wake Island Passage (Fig.2-14 の海盆 4 と 8 の間) を通るように切った。

その他は、顕著な海底地形で区分した。マリアナ諸島 (Fig.2-14 の海盆 1 と 3 の間)、伊豆小笠原諸島 (Fig.2-14 の海盆 1 と 3,4 の間)、天皇海山列 (Fig.2-14 の海盆 4 と 9 の間)、ハワイ諸島 (Fig.2-14 の海盆 4 と 9 の間)、マーシャル諸島 (Fig.2-14 の海盆 3 と 8 の間) などである。

北太平洋の部分は、アリューシャン列島 (Fig.2-14 の海盆 9 と 11 の間) で切った。Fig.2-14 の海盆 2 と 5 の間、および Fig.2-14 の海盆 6 と 7、海盆 6 と 10 の間は Purkey & Johnson (2010) を参考にした。

ここで、Fig.2-14 の海盆 9 が他の海盆に比べやや大きすぎるため、もう少し細かく区分することにした。

東太平洋の北部の部分は顕著な海底地形はない。そこで北緯 40 度から 0 度まで 5 度ずつ区分線をずらしながら海盆 9 の南北における海面上昇を計算してみた (Fig.2-15)。

## 東太平洋線移動

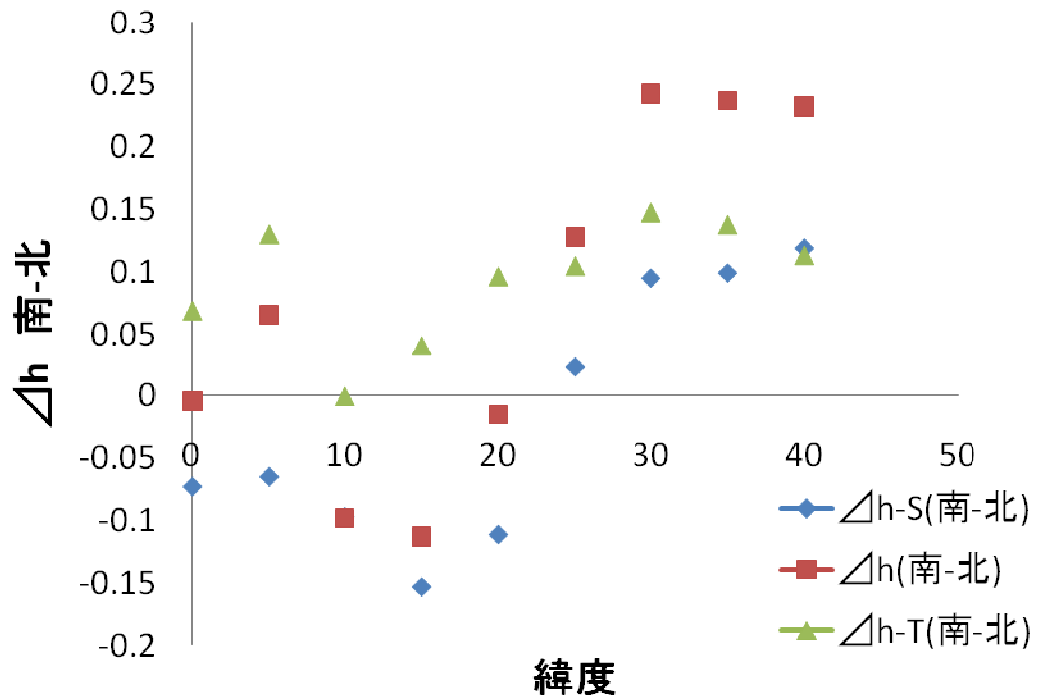


Fig.2- 15 東太平洋での区分線

北緯 0~40 度において 5 度ずつ区分線をずらしながら  $\Delta h$  の南北差を見た

その結果、東太平洋では、 $\Delta h$  に南北差があることがわかった。そこで、 $\Delta h$  の南北差が極大となる北緯 30° (Fig.2-6 の海盆 9,10 と 11 の間) で切ることとした。

太平洋の北東部 (Fig2-14 の海盆 9 の北緯 30 度以北) の部分にも顕著な海底地形はない。そこで、この部分東西に区切る区分線を設定し、南北に区分した場合と同様に、それをずらしながら区分線の東西で  $\Delta h$  を計算し、その差をプロットした (Fig.2-16)。

## 北東部太平洋線移動

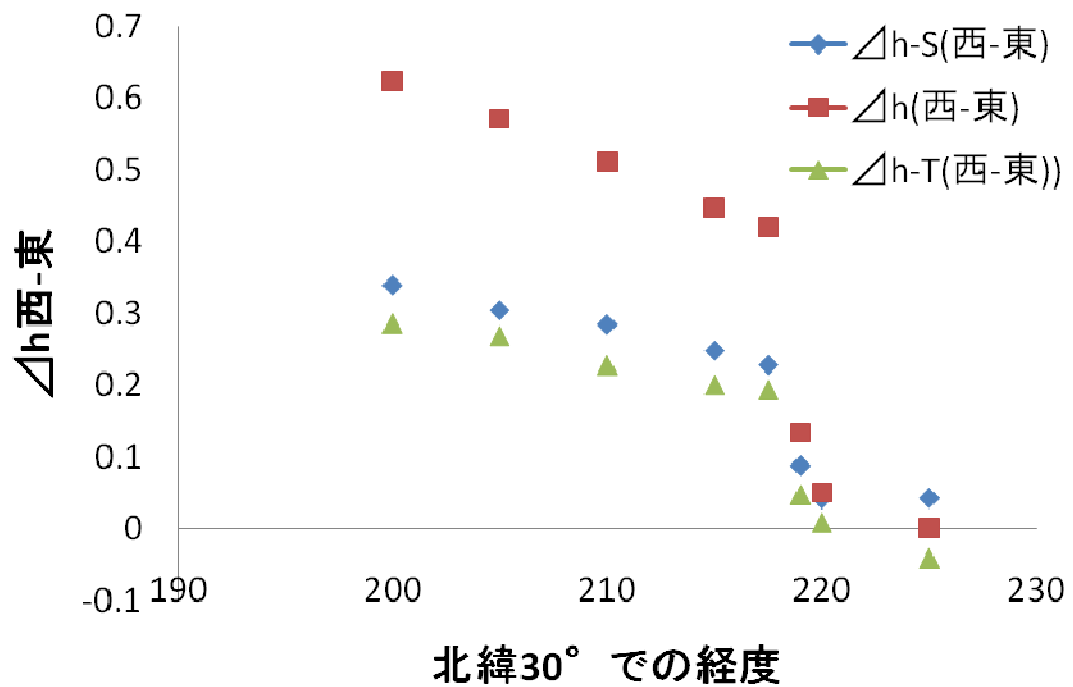


Fig.2- 16 北東部太平洋区分線

北緯海底地形にのっとして、区分線をずらしながら  $\Delta h$  の東西差を見た

すると、北東部太平洋では東西差があることがわかった。そこで、 $\Delta h$  の差が変曲点となる線で切ることとした (Fig.2-14 の海盆 9 と 10 の間)。

以上の方法で区分した、本研究で使用する海盆区分が以下 (Fig.2-17) である。



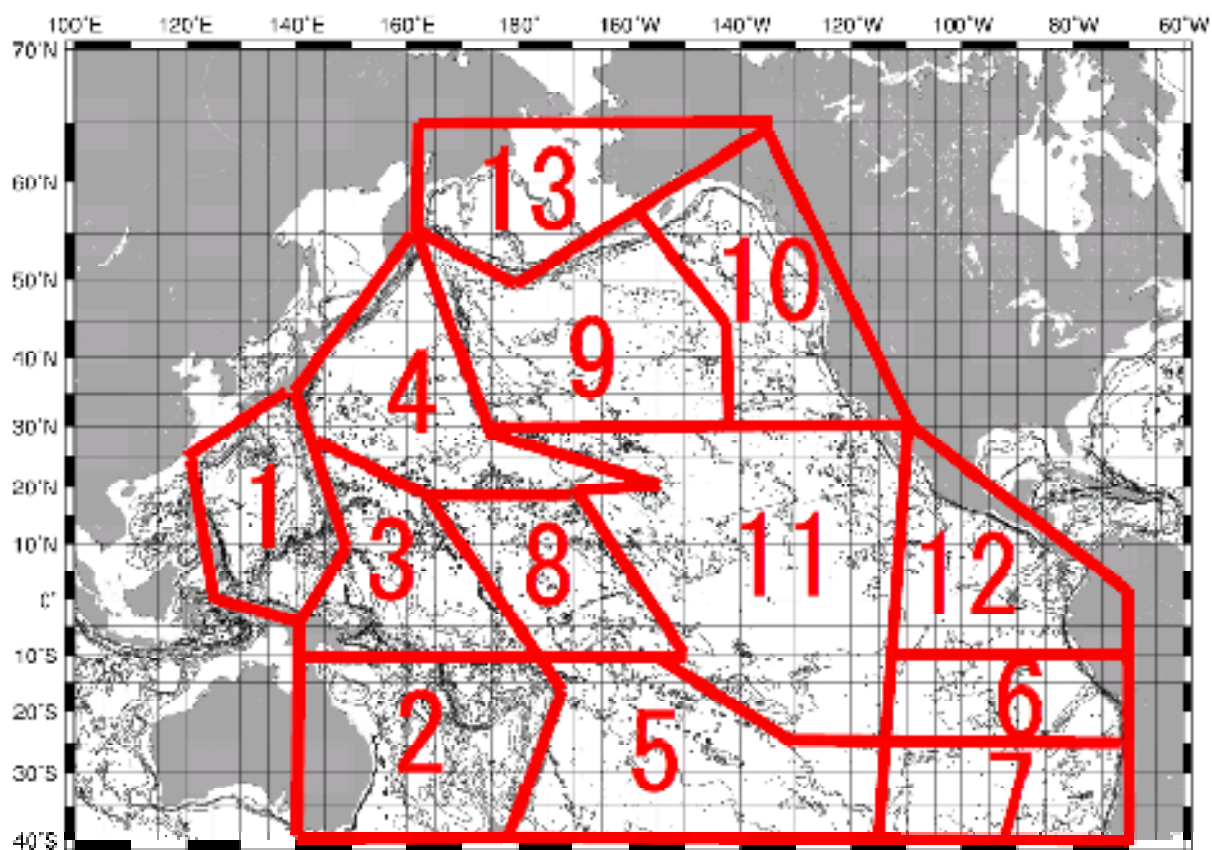


Fig.2-17 海盆区分案（最終）

海底地形を参考に海盆を区分したので、Table2-5 に示す通り、各海盆に名前をつけた。

Table2- 5 海盆名

海盆 1	フィリピン海盆
2	オーストラリア東部
3	東カロリン海盆
4	北西太平洋海盆
5	南西太平洋海盆
6	ペルー沖
7	南西太平洋海盆東部
8	中央太平洋海盆
9	北太平洋中央部
10	北太平洋東部
11	東太平洋海盆
12	東太平洋海盆東部
13	ベーリング海



### 3 章 計算結果と考察

#### 3-1 海面高度上昇

##### 3-1-1 計算結果の MAP

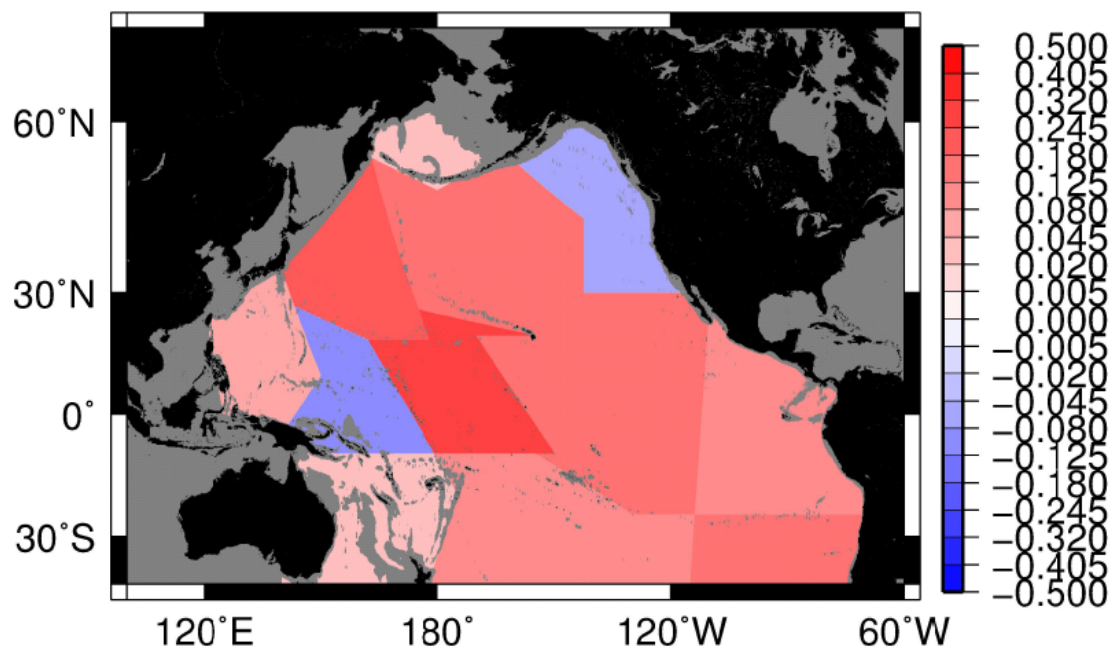
式 2-5~9 にしたがって、温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、及びその和  $\Delta h$  を計算した結果を表、及び水平分布図で以下に示す。ここで MAP 化する際、上昇しているのか下降しているのかを見やすくするためにカラーバーの間隔を等間隔ではなく 0 に近い部分では細かく切り、絶対値が大きくなるに従い、間隔を大きく設定した。上昇が赤、下降が青で示されている。

2000 m 深における  $\Delta h$  は Table3-1 のようになる。

Table3- 1 2000 m 深における海面高度変化

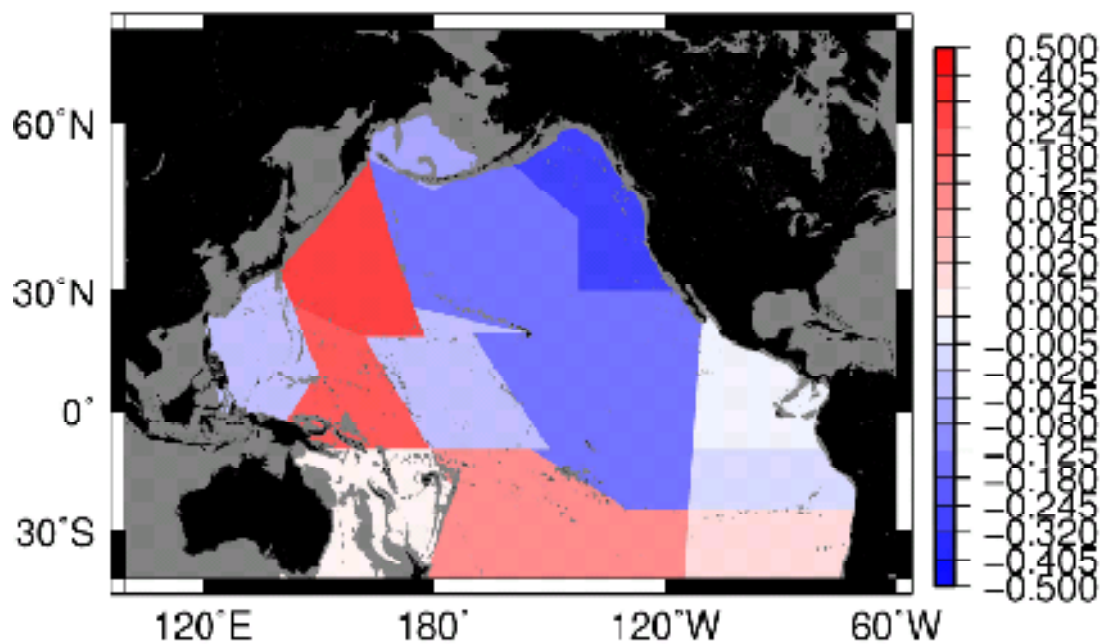
Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
フィリピン海盆(海盆1)	6.81E-02	-3.62E-02	3.18E-02
オーストラリア東部(海盆2)	2.57E-02	4.37E-03	3.01E-02
東カロリン海盆(海盆3)	-1.18E-01	2.08E-01	9.04E-02
北西太平洋海盆(海盆4)	2.63E-01	2.05E-01	4.68E-01
南西太平洋海盆(海盆5)	1.38E-01	1.19E-01	2.56E-01
ペルー沖(海盆6)	1.48E-01	-8.98E-03	1.39E-01
南西太平洋海盆東部(海盆7)	1.55E-01	1.80E-02	1.73E-01
中央太平洋海盆(海盆8)	2.82E-01	-2.50E-02	2.57E-01
北太平洋中央部(海盆9)	1.61E-01	-1.38E-01	2.27E-02
北太平洋東部(海盆10)	-5.80E-02	-3.16E-01	-3.74E-01
東太平洋海盆(海盆11)	1.50E-01	-1.51E-01	-8.44E-04
東太平洋海盆東部(海盆12)	1.14E-01	-2.30E-03	1.11E-01
ベーリング海(海盆13)	5.11E-02	-4.72E-02	3.83E-03

Fig.3-1 に 2000 m 深における温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を示す。



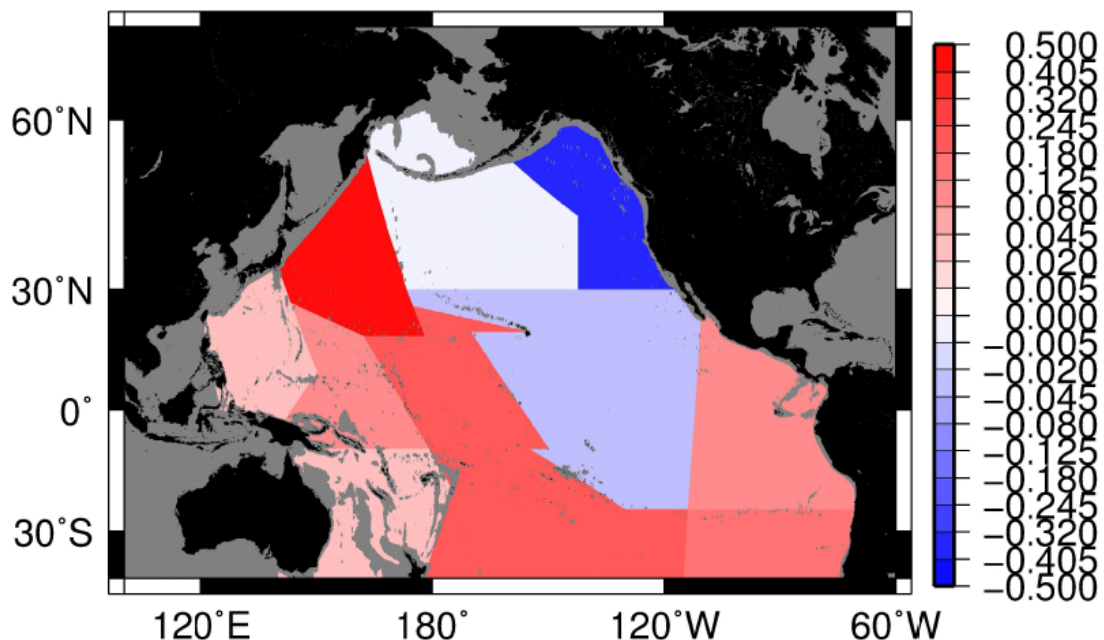
**Fig.3- 1  $\Delta h_T$ 2000 (mm/year)**  
2000 m 深における温度変化による海面高度変化

温度変化によるによる海面高度はほぼ全域にわたり上昇している。すなわち、東カロリン海盆（海盆 3）及び北太平洋東部（海盆 10）では下降しているものの、他の海盆では全て上昇しており、特に中央太平洋海盆（海盆 8）では大きな上昇がみられた。



**Fig.3- 2  $\Delta h_S$ 2000 (mm/year)**  
2000 m 深における塩分変化による海面高度変化

次に、2000 m 深における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_s$  を Fig.3-2 に示す。温度変化による海面高度変化の傾向とは異なっていることがわかる。東カロリン海盆（海盆 3）、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）は明らかに上昇、オーストラリア東部（海盆 2）、南西太平洋海盆東部（海盆 7）は上昇しているもののその値は小さい。一方、フィリピン海盆（海盆 1）、中央太平洋海盆（海盆 8）、北太平洋中央部（海盆 9）、北太平洋東部（海盆 10）、東太平洋海盆（海盆 11）、ベーリング海（海盆 13）は明らかに下降しており、ペルー沖（海盆 6）、東太平洋海盆東部（海盆 12）は下降しているものの、その値は小さいことがわかった。特に東カロリン海盆（海盆 3）、北西太平洋海盆（海盆 4）で大きく上昇しており、北太平洋海盆（海盆 10）で大きく下降している。フィリピン海（海盆 1）を除くと、大きな構造として、北東部で下降、南東部で上昇しているという傾向が見られた。



**Fig.3- 3  $\Delta h_{2000}$  (mm/year)**  
2000 m 深における海面高度変化

両者を足しあわせ、2000 m 深における海面高度変化  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-3 である。

北太平洋東部（海盆 10）、東太平洋海盆（海盆 11）で明らかに下降、北太平洋海盆（海盆 9）、ベーリング海（海盆 13）で明らかに下降、それ以外で明らかに上昇していることがわかった。北太平洋海盆（海盆 10）では非常に大きな下降が見られた。これは塩分変化による海面高度下降が大きかったのに加え、温度変化による海面高度も下降していたためである。逆に、北西太平洋海盆（海盆 4）では非常に大きな上昇が見られた。これは温度変化によっても塩分変化によっても海面高度が上昇していたためである。大きな構造としては、北東部で海面高度は下降、南東部では上昇してい

るといったことがみてとれた。

3000 m 深における  $\Delta h$  は Table3-2 のようになる。

Table3- 2 3000 m 深における海面高度変化

Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
フィリピン海盆(海盆1)	4.72E-02	-2.07E-02	2.65E-02
オーストラリア東部(海盆2)	2.29E-02	-2.89E-03	2.00E-02
東カロリン海盆(海盆3)	2.06E-03	1.13E-01	1.15E-01
北西太平洋海盆(海盆4)	1.43E-01	1.21E-01	2.64E-01
南西太平洋海盆(海盆5)	1.60E-01	8.63E-02	2.47E-01
ペルー沖(海盆6)	4.45E-02	-1.86E-02	2.59E-02
南西太平洋海盆東部(海盆7)	5.73E-02	1.14E-02	6.87E-02
中央太平洋海盆(海盆8)	2.28E-01	-4.48E-02	1.84E-01
北太平洋中央部(海盆9)	1.02E-01	-1.15E-01	-1.31E-02
北太平洋東部(海盆10)	-1.85E-02	-1.56E-01	-1.74E-01
東太平洋海盆(海盆11)	9.14E-02	-1.11E-01	-1.94E-02
東太平洋海盆東部(海盆12)	1.64E-02	-5.56E-03	1.08E-02
ベーリング海(海盆13)	2.89E-02	-1.78E-02	1.12E-02

3000 m 深における温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を MAP 化したものが Fig.3-4 である。

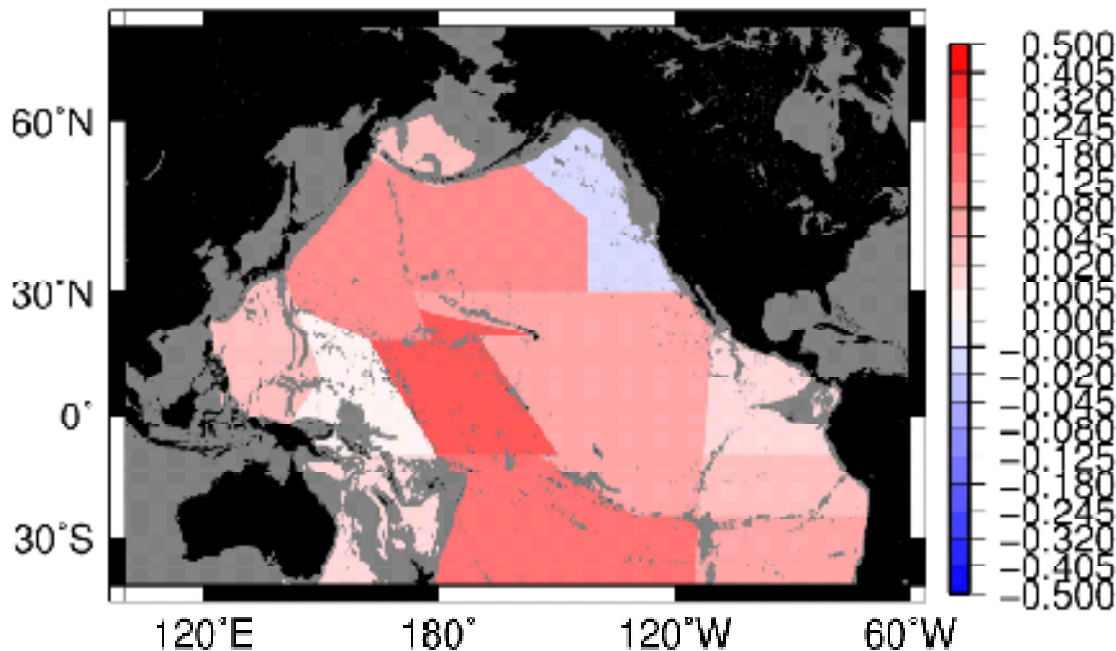


Fig.3- 4  $\Delta h_T-3000$  (mm/year)

3000 m 深における温度変化による海面高度変化

北太平洋東部(海盆10)では下降、東カロリン海盆(海盆3)ではかろうじて上昇、また他11の海盆では明らかに上昇する、といった結果が得られた。特に、中央太平

洋海盆（海盆 8）で大きな上昇がみられた。3000 m 深においても、温度変化によって海面高度はほぼ上昇するということができる。

3000 m 深における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_s$  を MAP 化したのが Fig.3-5 である。

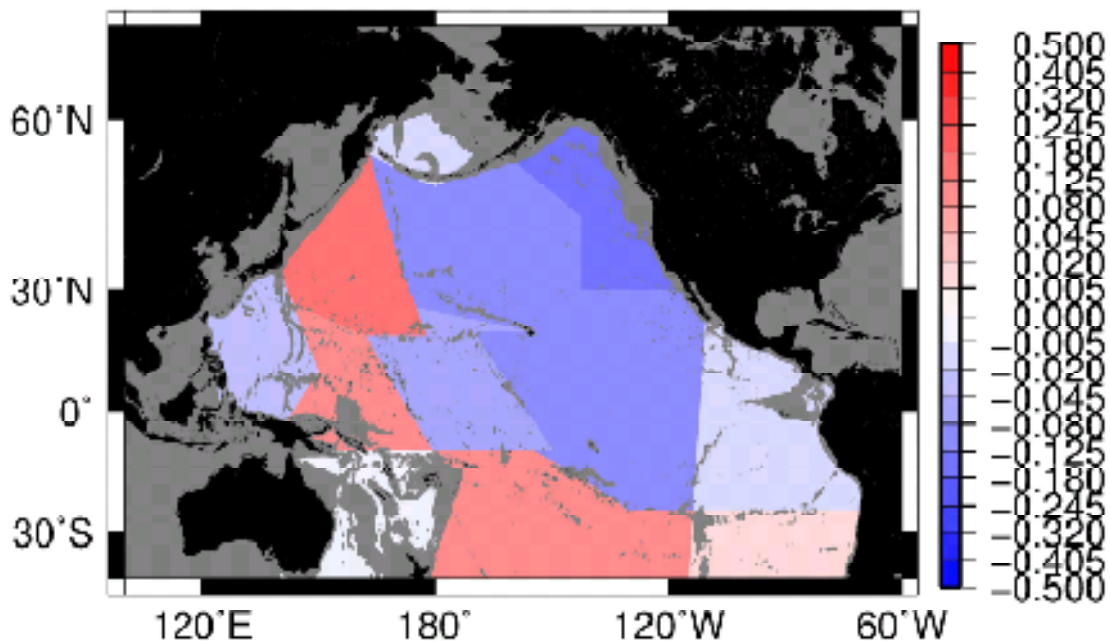


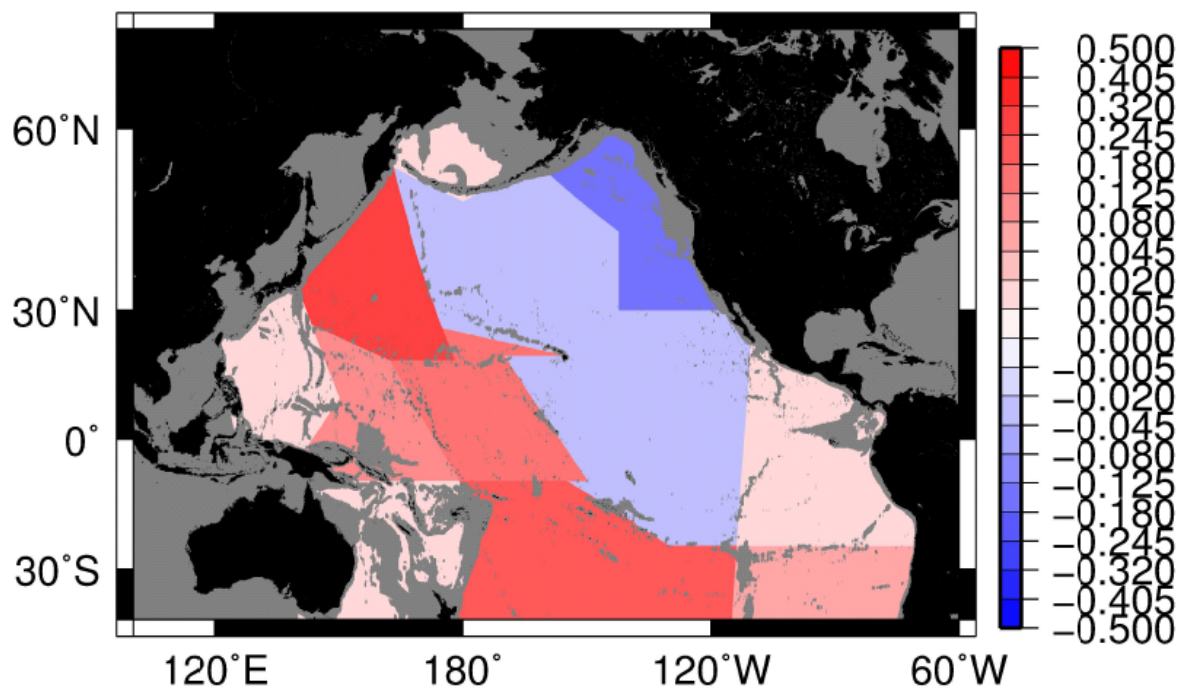
Fig.3- 5  $\Delta h_s$ -3000 (mm/year)

3000 m 深における塩分変化による海面高度変化

東カロリン海盆（海盆 3）、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）は明らかに上昇、南西太平洋海盆東部（海盆 7）はかろうじて上昇、オーストラリア東部（海盆 2）、ペルー沖（海盆 6）、東太平洋海盆東部（海盆 12）、ベーリング海（海盆 13）はかろうじて下降、フィリピン海盆（海盆 1）、中央太平洋海盆（海盆 8）、北太平洋中央部（海盆 9）、北太平洋東部（海盆 10）、東太平洋海盆（海盆 11）は明らかに下降していることがわかった。特に東カロリン海盆（海盆 3）、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）で大きく上昇している。一方、北太平洋東部（海盆 10）で大きく下降している。2000 m 深での  $\Delta h_s$  と同じく、大きな構造として、北東部で下降、南東部で上昇しているが、フィリピン海盆（海盆 1）では下降が見られた。



3000 m 深における  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-6 である。



**Fig.3- 6  $\Delta h$ -3000 (mm/year)**  
**3000 m 深における海面高度変化**

北太平洋中央部（海盆 9）、北太平洋東部（海盆 10）、東太平洋海盆（海盆 11）で明らかに下降、それ以外で明らかに上昇していることがわかった。ベーリング海（海盆 13）は 2000 m 深では下降していたのに対し、3000 m 深では上昇していた。北太平洋東部（海盆 10）では非常に大きな下降が見られた。これは塩分変化による下降が大きかったのに加え、温度変化によっても下降していたことが効いていると考えられる。逆に、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）では非常に大きな上昇が見られた。これは温度変化によっても塩分変化によっても海面が上昇していたためである。2000 m 深と同様、大きな構造としては、北東部で海面高度は下降、南東部では上昇しているといったことがみてとれた。

4000 m 深における  $\Delta h$  は Table3-3 のようになる。

Table3- 3 4000 m 深における海面高度変化

Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
フィリピン海盆(海盆1)	2.23E-02	-5.13E-03	1.72E-02
オーストラリア東部(海盆2)	3.58E-03	-1.99E-04	3.38E-03
東カロリン海盆(海盆3)	1.55E-02	3.63E-02	5.18E-02
北西太平洋海盆(海盆4)	1.05E-01	7.86E-02	1.83E-01
南西太平洋海盆(海盆5)	1.45E-01	3.29E-02	1.77E-01
ペルー沖(海盆6)	8.74E-03	-4.11E-03	4.63E-03
南西太平洋海盆東部(海盆7)	1.58E-02	3.07E-03	1.89E-02
中央太平洋海盆(海盆8)	1.36E-01	-3.08E-02	1.05E-01
北太平洋中央部(海盆9)	6.47E-02	-7.12E-02	-6.51E-03
北太平洋東部(海盆10)	5.52E-03	-4.34E-02	-3.79E-02
東太平洋海盆(海盆11)	3.40E-02	-5.25E-02	-1.85E-02
東太平洋海盆東部(海盆12)	-3.18E-03	-1.44E-03	-4.63E-03
ベーリング海(海盆13)	2.11E-03	4.44E-05	2.15E-03

4000 m 深での温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を MAP 化したものが Fig.3-7 である。

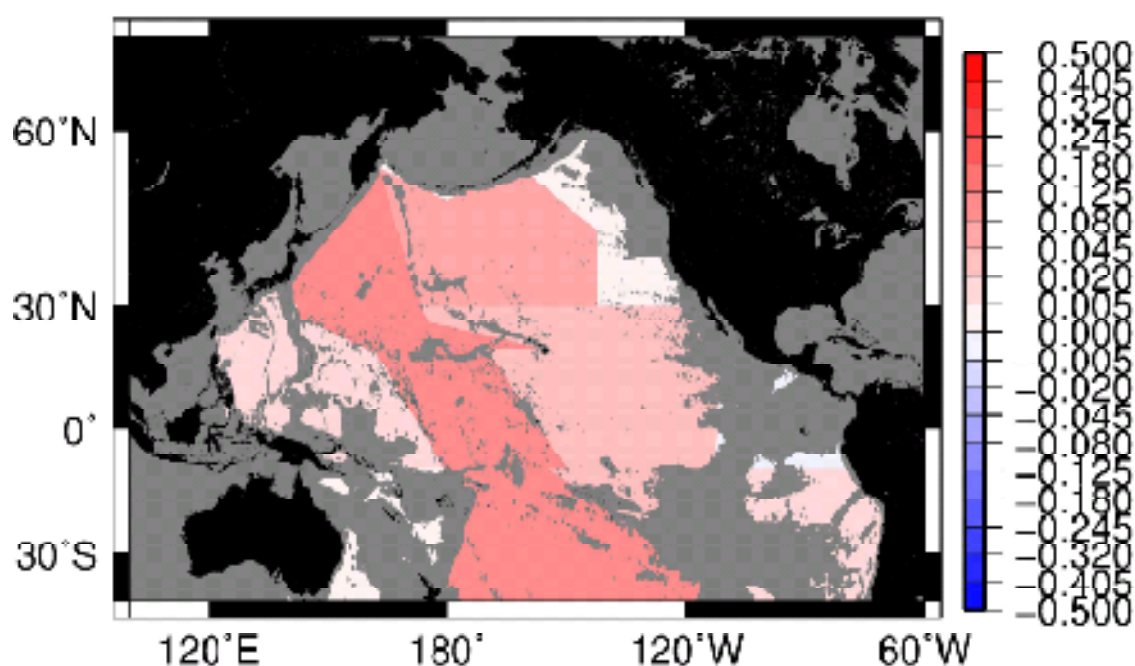


Fig.3- 7  $\Delta h_T-4000$  (mm/year)

4000 m 深における温度変化による海面高度変化

東太平洋海盆東部(海盆 12)でかろうじて下降、オーストラリア東部(海盆 2)、北太平洋東部(海盆 10)でかろうじて上昇、他の十個の海盆では明らかに上昇する、といった結果が得られた。2000, 3000 m 深では下降していた北太平洋東部(海盆 10)が 4000 m 深だとかろうじてではあるが上昇に変わった。また 2000, 3000 m 深では

明らかに下降部分があったのに対し、全体的に海面高度上昇に寄与しているように見える。北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）、中央太平洋海盆（海盆 8）で大きな上昇がみられる。4000 m 深においては、2000, 3000 m 深での様相以上に、温度変化により海面高度はほぼ上昇することができる。

4000 m 深における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_s$  を MAP 化したのが Fig.3-8 である。

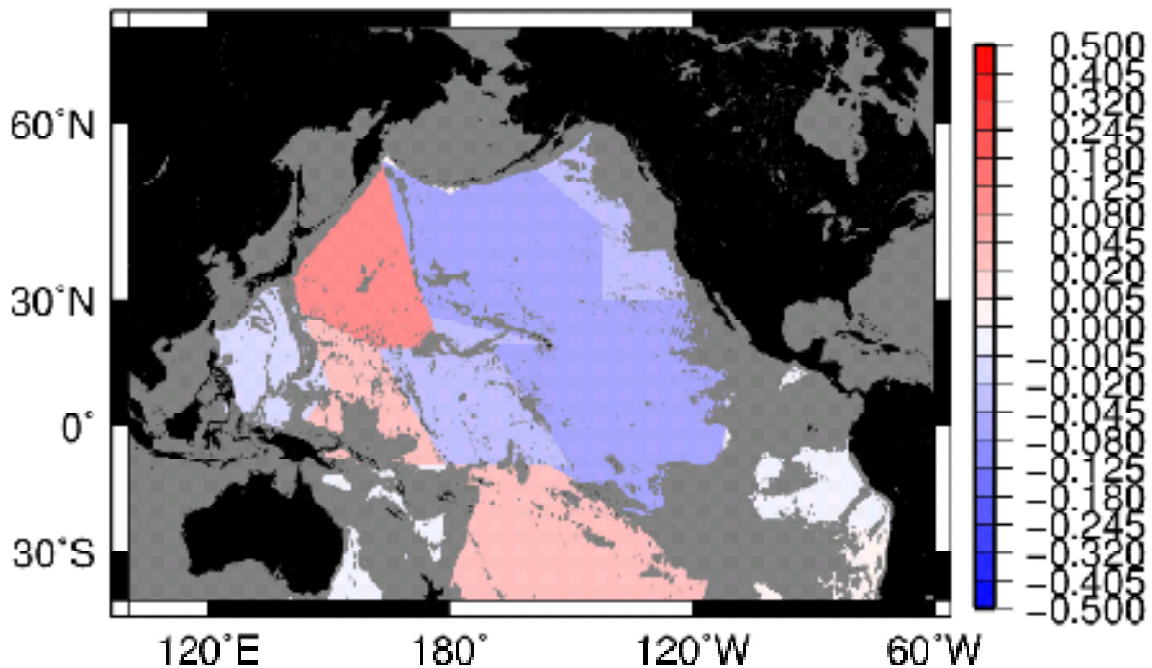


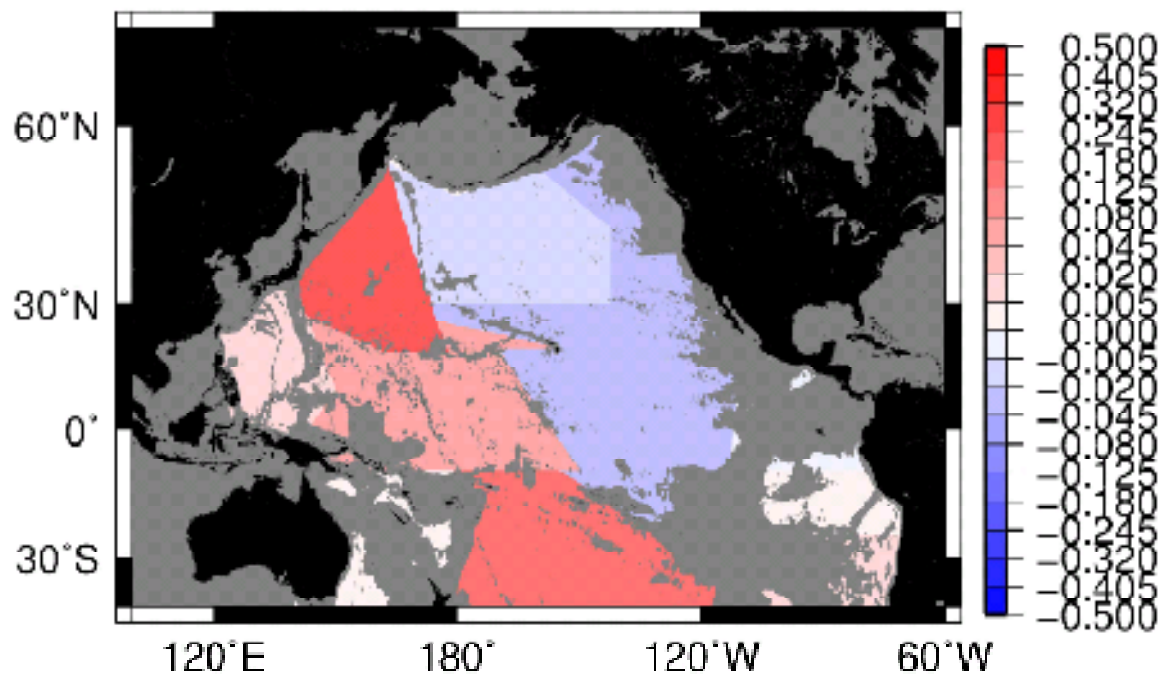
Fig.3- 8  $\Delta h_s$ -4000 (mm/year)

4000 m 深における塩分変化による海面高度変化

東カロリン海盆（海盆 3）、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）は明らかに上昇、南西太平洋海盆東部（海盆 7）、ベーリング海（海盆 13）はかろうじて上昇、オーストラリア東部（海盆 2）、ペルー沖（海盆 6）、東太平洋海盆東部（海盆 12）はかろうじて下降、フィリピン海盆（海盆 1）、中央太平洋海盆（海盆 8）、北太平洋中央部（海盆 9）、北太平洋東部（海盆 10）、東太平洋海盆（海盆 11）は明らかに下降していることがわかった。特に、北西太平洋海盆（海盆 4）で大きく上昇している。2000, 3000 m では大きな下降が見られた北太平洋東部（海盆 10）よりも、北太平洋中央部（海盆 9）、東太平洋海盆（海盆 11）の方が大きく下降していることがわかった。2000, 3000 m 深での  $\Delta h_S$  と同じく、大きな構造として、北東部で下降、南東部で上昇しているが、これも 2000, 3000 m 深での  $\Delta h_s$  と同様、フィリピン海盆（海盆 1）では下降が見られた。



4000 m 深における  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-9 である。



**Fig.3- 9  $\Delta h$ -4000 (mm/year)**  
4000 m 深における海面高度変化

北太平洋中央部（海盆 9）、北太平洋東部（海盆 10）、東太平洋海盆（海盆 11）で明らかに下降、東太平洋海盆東部（海盆 12）でかろうじて下降、オーストラリア東部（海盆 2）、ペルー沖（海盆 6）でかろうじて上昇、それ以外で明らかに上昇していることがわかった。北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）は非常に大きな上昇が見られた。これは温度変化によっても塩分変化によっても海面高度が上昇していたためである。2000, 3000 m 深と同様、大きな構造としては、北東部で海面は下降、南東部では上昇しているといったことがみてとれた。

5000 m 深における  $\Delta h$  は Table3-4 のようになる。

Table3- 4 5000 m 深における海面高度変化

Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
フィリピン海盆(海盆1)	7.00E-03	7.95E-03	1.50E-02
オーストラリア東部(海盆2)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
東カロリン海盆(海盆3)	5.03E-03	5.34E-03	1.04E-02
北西太平洋海盆(海盆4)	5.27E-02	3.76E-02	9.04E-02
南西太平洋海盆(海盆5)	3.45E-02	6.38E-03	4.09E-02
ペルー沖(海盆6)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
南西太平洋海盆東部(海盆7)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
中央太平洋海盆(海盆8)	2.64E-02	-1.07E-02	1.57E-02
北太平洋中央部(海盆9)	2.73E-02	-2.78E-02	-5.01E-04
北太平洋東部(海盆10)	-2.87E-03	-3.91E-03	-6.78E-03
東太平洋海盆(海盆11)	7.26E-03	-7.05E-03	2.15E-04
東太平洋海盆東部(海盆12)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
ベーリング海(海盆13)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

オーストラリア東部(海盆2), ペルー沖(海盆6), 南西太平洋海盆東部(海盆7), 東太平洋海盆東部(海盆12), ベーリング海(海盆13) では 5000 m 以浅に海底があり、データが存在しないため 0 となる。

5000 m 深における温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を MAP 化したものが Fig.3-10 である。

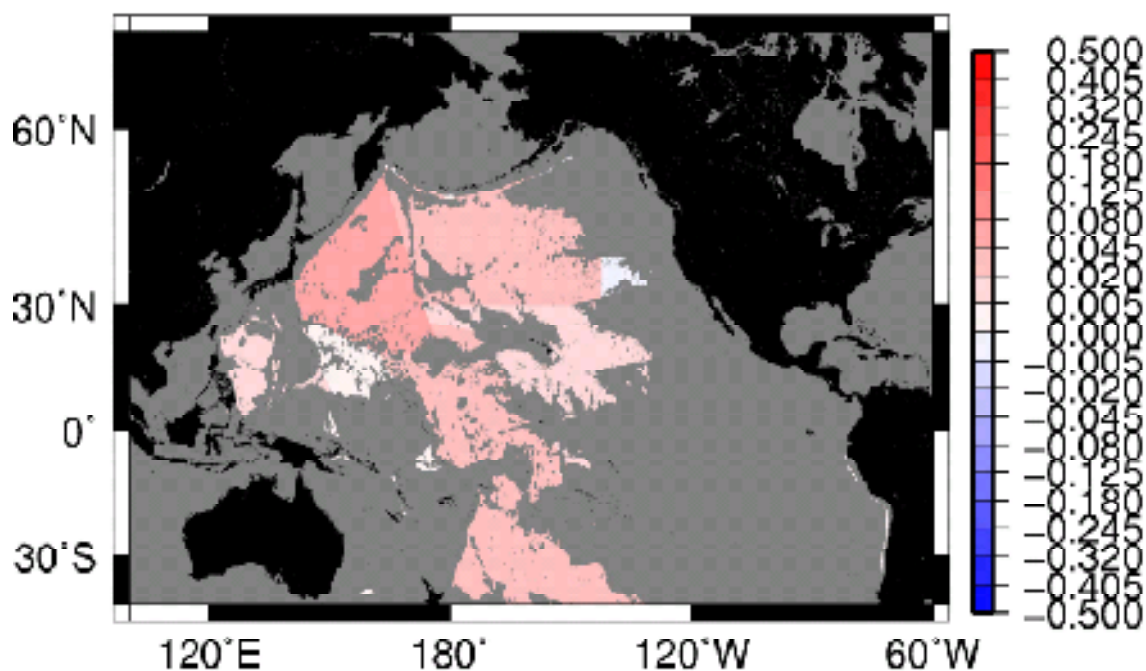


Fig.3- 10  $\Delta h_T5000$  (mm/year)

5000 m 深における温度変化による海面高度変化

北太平洋東部（海盆 10）でかろうじて下降、東カロリン海盆（海盆 3）、中央太平洋海盆（海盆 8）でかろうじて上昇、他の海盆では上昇する、といった結果が得られた。2000, 3000 m 深では下降だった北太平洋東部（海盆 10）が 4000 m 深だとかろうじてではあるが上昇に変わったが、再び下降となった。また 2000, 3000 m 深では明らかに下降部分があったのに対し、4000 m 深と同様、全体的に海面上昇に寄与しているように見える。4000 m 深と同様、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）、特に中央太平洋海盆（海盆 8）で大きな上昇がみられる。5000 m 深においては 4000 m 深と同様、2000, 3000 m 深での様相以上に、温度変化により海面高度はほぼ上昇するといえることができる。

5000 m 深における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_s$  を MAP 化したのが Fig.3-11 である。

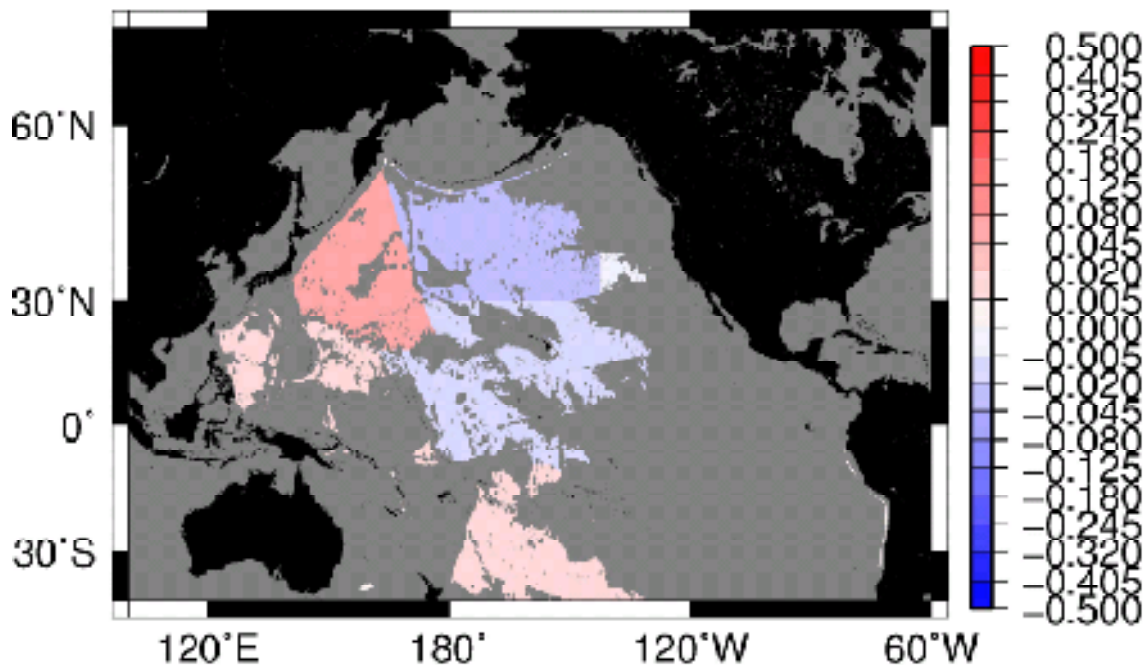


Fig.3- 11  $h_{s5000}$  (mm/year)

5000 m 深における塩分変化による海面高度変化

フィリピン海盆（海盆 1）、東カロリン海盆（海盆 3）、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）は明らかに上昇、北太平洋東部（海盆 10）はかろうじて下降、中央太平洋海盆（海盆 8）、北太平洋中央部（海盆 9）、東太平洋海盆（海盆 11）では明らかに下降していることがわかった。これまでと同様、北西太平洋海盆（海盆 4）で大きく上昇している。2000, 3000 m では大きな海面高度下降が見られた北太平洋東部（海盆 10）だが、5000 m 深ではほとんど下降が見られなくなった。北太平洋中央部（海盆 9）で最も下降している。また、フィリピン海盆（海盆 1）は 2000, 3000, 4000 m 深で下降を示していたが、5000 m 深では上昇に転じていることがわかった。2000, 3000, 4000 m 深での  $\Delta h_s$  と同じく、大きな構造として、北東部で下

降、南東部で上昇している。フィリピン海盆（海盆 1）でも上昇になっているためよりその構造が見えやすくなっている。

5000 m 深における  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-11 である。

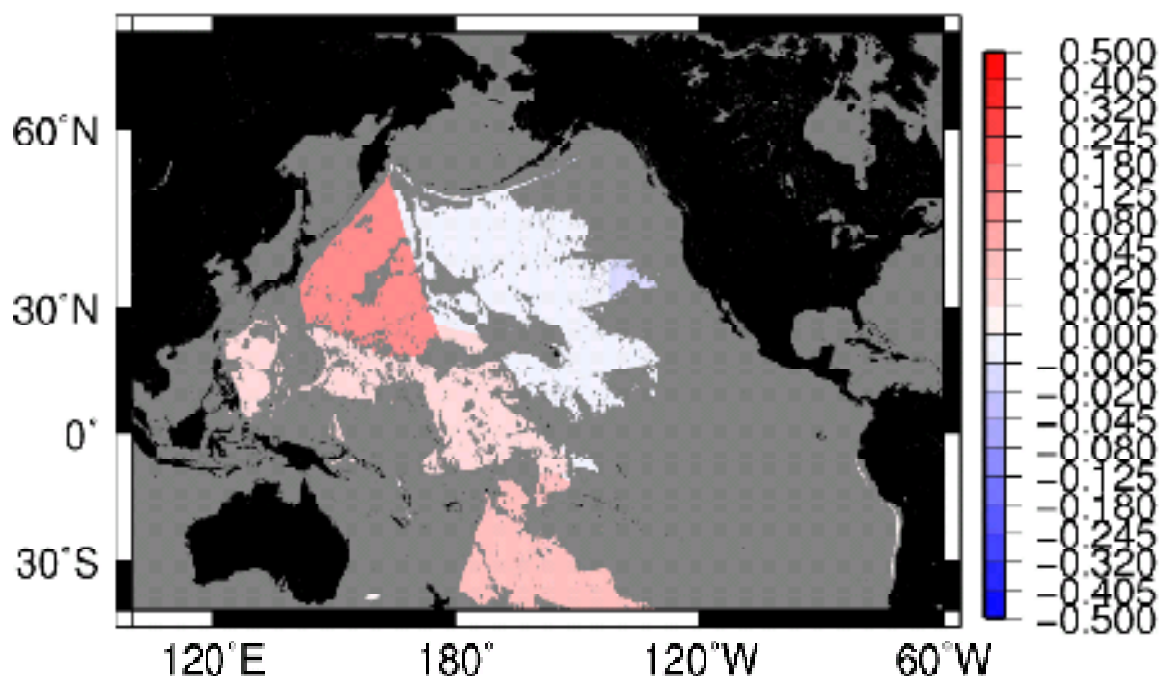


Fig.3- 12  $\Delta h$ -5000 (mm/year)  
(5000 m 深における海面高度変化)

北太平洋東部（海盆 10）で下降、北太平洋中央部（海盆 9）、東太平洋海盆（海盆 11）でかろうじて下降、オーストラリア東部（海盆 2）、ペルー沖（海盆 6）でかろうじて上昇、それ以外で上昇していることがわかった。2000, 3000, 4000 m 深と同様、北西太平洋海盆（海盆 4）で非常に大きな上昇が見られた。これは温度変化によっても塩分変化によっても海面が上昇していたためである。2000, 3000, 4000 m 深と同様、大きな構造としては、北東部で海面は下降、南東部では上昇しているといったことがみてとれた。

ここまではある深さより深い部分での海面高度の変化を見てきた。次に、各層（1000m 毎）における変化を見ていく。



2000 m～3000 m における海面高度変化  $\Delta h$  は Table3-5 のようになる。

Table3- 5 2000～3000 m 深における海面高度変化

Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
フィリピン海盆(海盆1)	2.09E-02	-1.55E-02	5.38E-03
オーストラリア東部(海盆2)	2.79E-03	7.26E-03	1.00E-02
東カロリン海盆(海盆3)	-1.20E-01	9.52E-02	-2.48E-02
北西太平洋海盆(海盆4)	1.21E-01	8.37E-02	2.05E-01
南西太平洋海盆(海盆5)	-2.24E-02	3.22E-02	9.80E-03
ペルー沖(海盆6)	1.04E-01	9.63E-03	1.13E-01
南西太平洋海盆東部(海盆7)	9.77E-02	6.61E-03	1.04E-01
中央太平洋海盆(海盆8)	5.32E-02	1.99E-02	7.31E-02
北太平洋中央部(海盆9)	5.88E-02	-2.30E-02	3.58E-02
北太平洋東部(海盆10)	-3.95E-02	-1.60E-01	-2.00E-01
東太平洋海盆(海盆11)	5.90E-02	-4.05E-02	1.85E-02
東太平洋海盆東部(海盆12)	9.74E-02	3.26E-03	1.01E-01
ベーリング海(海盆13)	2.21E-02	-2.95E-02	-7.34E-03

2000～3000 m 深における温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を MAP 化したものが Fig.3-13 である。

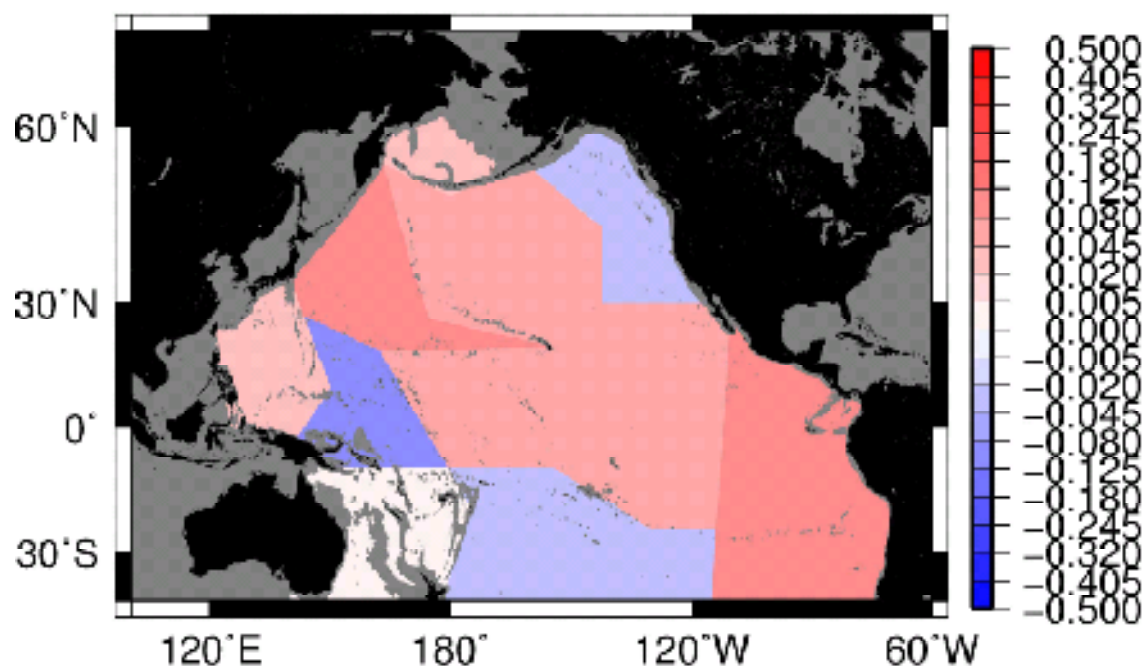
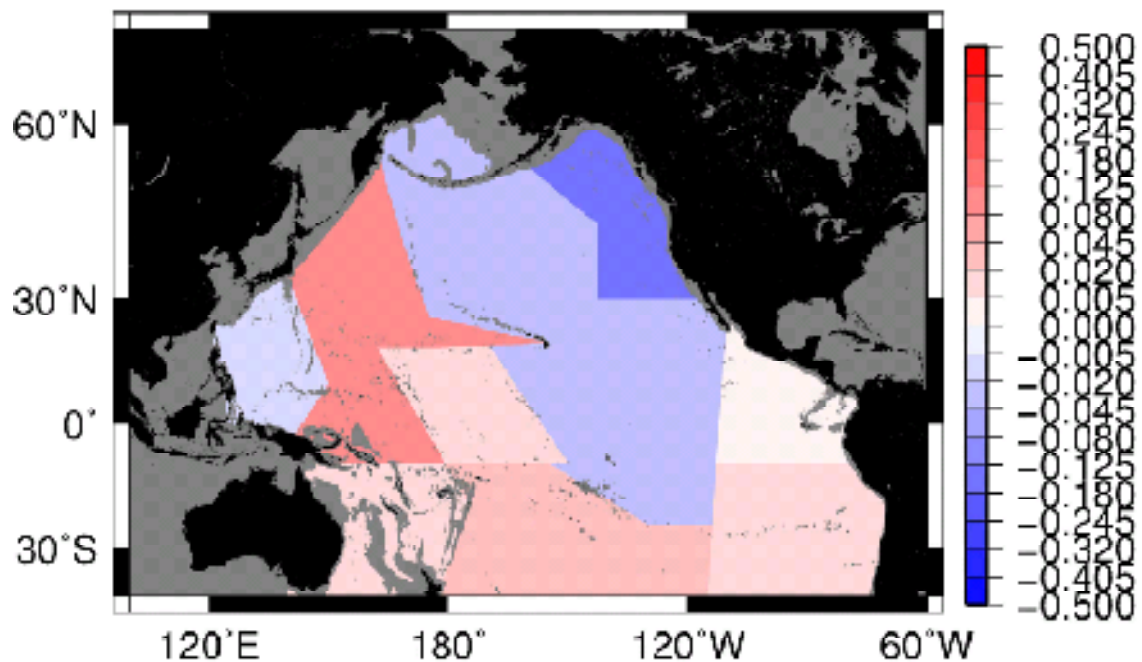


Fig.3- 13  $\Delta h_T$ 2000～3000 m (mm/year)  
2000～3000 m 深における温度変化による海面高度変化

北西太平洋海盆(海盆4), ペルー沖(海盆6), 南西太平洋海盆東部(海盆7), 東太平洋海盆東部(海盆12)で海面高度変化  $\Delta h_T$  は大きく上昇、フィリピン海盆(海盆1), 中央太平洋海盆(海盆8), 北太平洋中央部(海盆9), 北太平洋東部(海盆10),

東太平洋海盆（海盆 11）、ベーリング海（海盆 13）で上昇、南西太平洋海盆（海盆 5）、北太平洋東部（海盆 10）で下降、東カロリン海盆（海盆 3）で大きく下降、オーストラリア東部（海盆 2）でほぼ 0 といった結果が得られた。

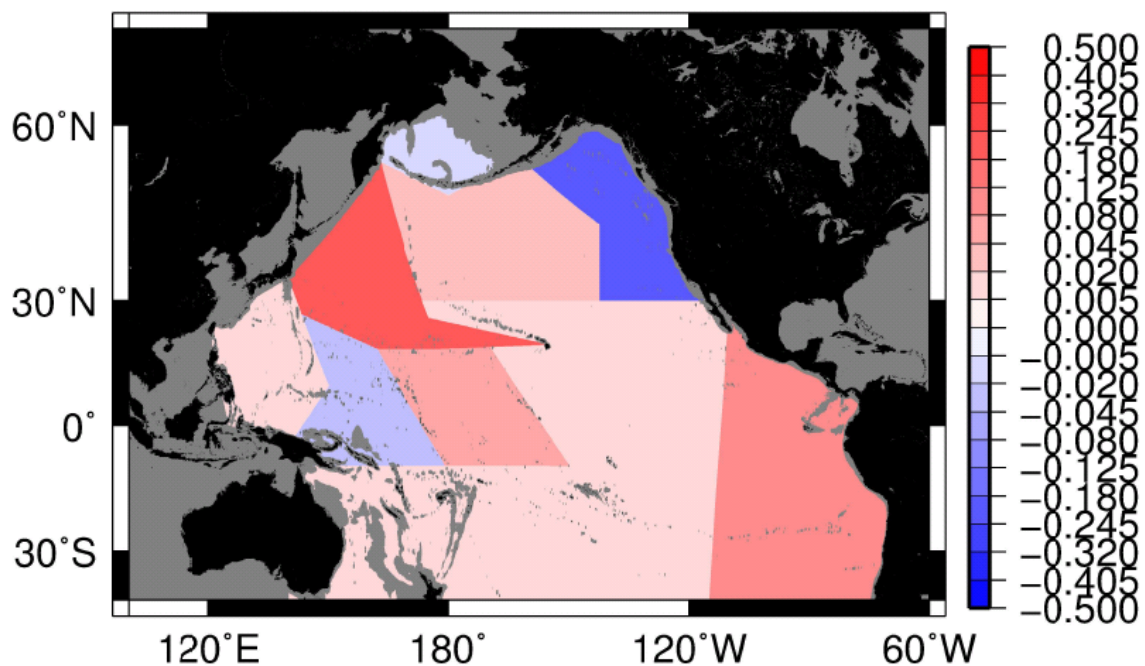
2000～3000 m 深における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_s$  を MAP 化したのが Fig.3-14 である。



**Fig.3- 14  $h_s$ 2000～3000 m (mm/year)**  
2000～3000 m 深における塩分変化による海面高度変化

海面高度変化  $\Delta h_s$  は東カロリン海盆（海盆 3）、北西太平洋海盆（海盆 4）で大きく上昇、オーストラリア東部（海盆 2）、南西太平洋海盆（海盆 5）、ペルー沖（海盆 6）、南西太平洋海盆東部（海盆 7）、中央太平洋海盆（海盆 8）で上昇、フィリピン海盆（海盆 1）、北太平洋中央部（海盆 9）、東太平洋海盆（海盆 11）、ベーリング海（海盆 13）で下降、北太平洋東部（海盆 10）で大きく下降といった結果が得られた。

2000～3000 m 層における海面高度変化  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-15 である。



**Fig.3- 15  $\Delta h$ -2000～3000 m (mm/year)**  
2000～3000 m 層における海面高度変化

温度および塩分の変化による海面高度変化の和  $\Delta h$  を計算した結果、北西太平洋海盆（海盆 4）で非常に大きな上昇、ペルー沖（海盆 6）、南西太平洋海盆東部（海盆 7）、中央太平洋海盆（海盆 8）、北太平洋中央部（海盆 9）で上昇、フィリピン海盆（海盆 1）、オーストラリア東部（海盆 2）、南西太平洋海盆（海盆 5）、東太平洋海盆（海盆 11）でやや上昇、東カロリン海盆（海盆 3）、ベーリング海（海盆 13）で下降、北太平洋東部（海盆 10）で大きな下降が見られた。北西太平洋海盆（海盆 4）で大きな上昇が見られるのは温度変化による海面高度変化も塩分変化による海面高度変化も大きく上昇に寄与しているためである。一方、北太平洋東部（海盆 10）で大きな下降が見られたのは、温度変化による海面高度変化も塩分による海面高度変化も下降に寄与しているためである。



3000 m～4000 m における海面高度変化  $\Delta h$  は Table3-6 のようになる。

Table3- 6 3000～4000 m 層における海面高度変化

Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
フィリピン海盆(海盆1)	2.48E-02	-1.56E-02	9.25E-03
オーストラリア東部(海盆2)	1.93E-02	-2.69E-03	1.66E-02
東カロリン海盆(海盆3)	-1.34E-02	7.68E-02	6.33E-02
北西太平洋海盆(海盆4)	3.79E-02	4.27E-02	8.06E-02
南西太平洋海盆(海盆5)	1.57E-02	5.34E-02	6.91E-02
ペルー沖(海盆6)	3.58E-02	-1.45E-02	2.13E-02
南西太平洋海盆東部(海盆7)	4.15E-02	8.29E-03	4.98E-02
中央太平洋海盆(海盆8)	9.21E-02	-1.40E-02	7.81E-02
北太平洋中央部(海盆9)	3.73E-02	-4.39E-02	-6.61E-03
北太平洋東部(海盆10)	-2.40E-02	-1.12E-01	-1.36E-01
東太平洋海盆(海盆11)	5.74E-02	-5.83E-02	-9.02E-04
東太平洋海盆東部(海盆12)	1.96E-02	-4.12E-03	1.54E-02
ベーリング海(海盆13)	2.68E-02	-1.78E-02	9.02E-03

3000～4000 m 深における温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を MAP 化したものが Fig.3-16 である。

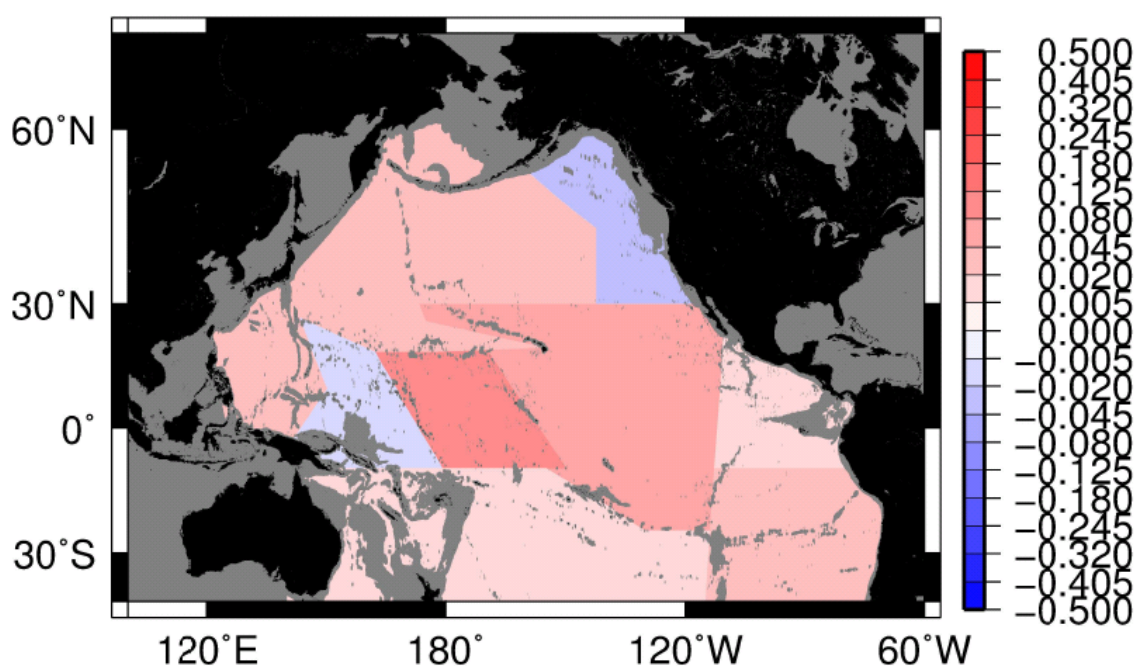


Fig.3- 16  $\Delta h_T$ 3000～4000 m (mm/year)

3000～4000 m 層における温度変化による海面高度変化

中央太平洋海盆(海盆8)で海面高度変化  $\Delta h_T$  は大きく上昇、東カロリン海盆(海盆3)、北太平洋東部(海盆10)では下降、その他の海盆では上昇といった結果が得られた。この層(3000～4000 m)では、ほとんどの海盆で、温度変化が海面高度上昇に寄与していると言える。

3000～4000 m 層における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_s$  を MAP 化したのが Fig.3-17 である。

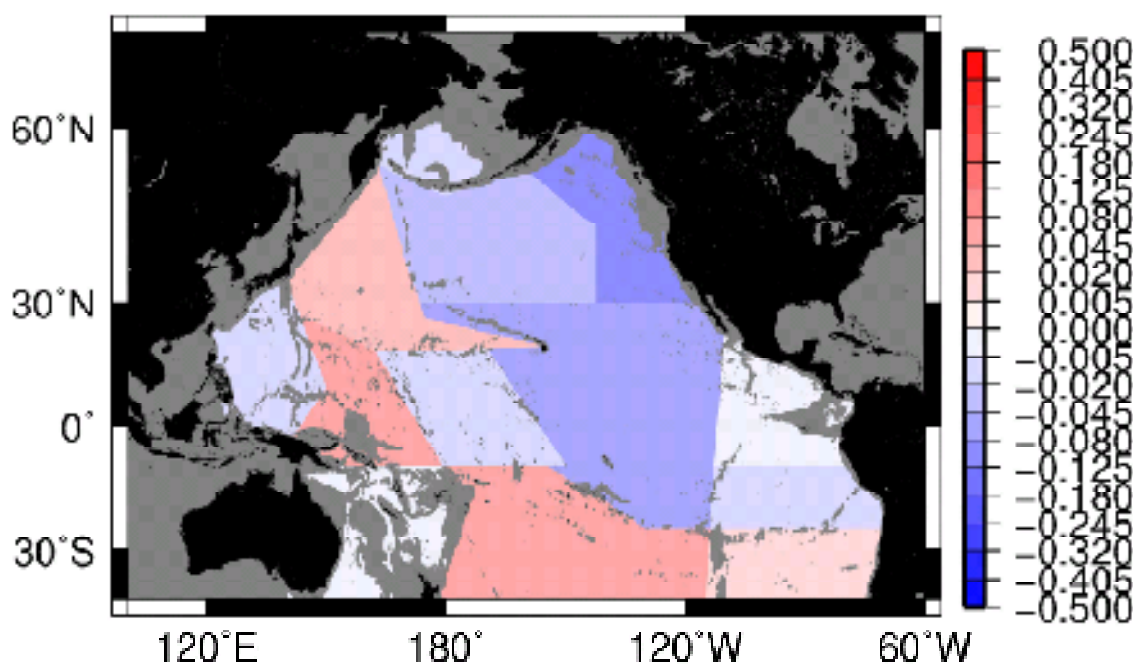


Fig.3- 17  $h_{s3000\sim4000\text{ m}}$  (mm/year)

3000～4000 m 層における塩分変化による海面高度変化

海面高度変化  $\Delta h_s$  は東カロリン海盆（海盆 3）、南西太平洋海盆（海盆 5）で大きく上昇、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆東部（海盆 7）で上昇、フィリピン海盆（海盆 1）、ペルー沖（海盆 6）、中央太平洋海盆（海盆 8）、北太平洋中央部（海盆 9）、東太平洋海盆（海盆 11）、ベーリング海（海盆 13）で下降、北太平洋東部（海盆 10）で大きく下降、オーストラリア東部（海盆 2）、東太平洋海盆東部（海盆 12）ではほぼ 0 といった結果が得られた。この層（3000～4000 m）では 2000～3000 m の層に比べ、塩分変化が海面高度の下降に寄与している海盆が増えたと言える。

3000～4000 m 層における  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-18 である。

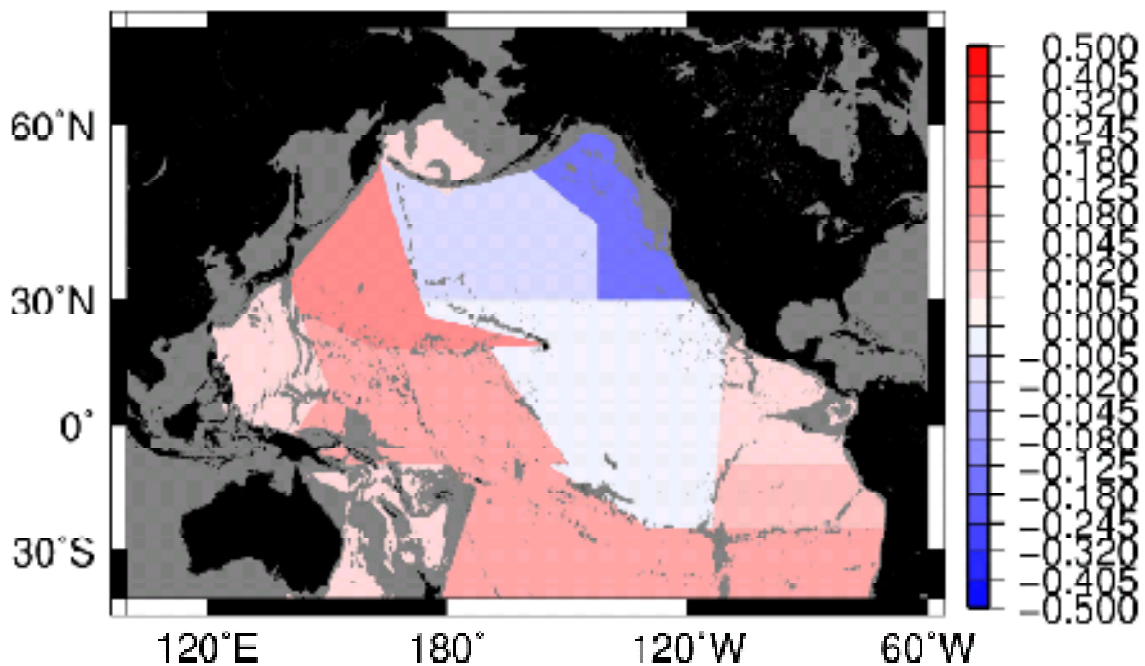


Fig.3- 18  $\Delta h$ -3000～4000 m (mm/year)  
3000～4000 m 層における海面高度変化

温度および塩分の変化による海面高度変化の和  $\Delta h$  を計算した結果、北西太平洋海盆（海盆 4）で非常に大きな上昇、東カロリン海盆（海盆 3），南西太平洋海盆（海盆 5），南西太平洋海盆東部（海盆 7），中央太平洋海盆（海盆 8）で上昇、フィリピン海盆（海盆 1），オーストラリア東部（海盆 2），ペルー沖（海盆 6），東太平洋海盆東部（海盆 12），ベーリング海（海盆 13）でやや上昇、北太平洋中央部（海盆 9）で下降、北太平洋東部（海盆 10）で大きな下降、東太平洋海盆（海盆 11）はほぼ 0 といった結果が得られた。2000～3000 m の層と同様、北西太平洋海盆（海盆 4）で大きな上昇が見られるのは温度に变化による海面高度変化も塩分変化による海面高度変化も大きく上昇に寄与しているためである。こちらも、2000～3000 m の層と同様、北太平洋東部（海盆 10）で大きな下降が見られたのは、温度変化による海面高度変化も塩分変化による海面高度変化も下降に寄与しているためである。東太平洋海盆（海盆 11）では温度変化による海面高度変化は上昇、塩分によるものは下降を示すが、相殺されて Total の海面高度変化はほぼ 0 といった結果になっている。

4000 m～5000 m における海面高度変化  $\Delta h$  は Table3-7 のようになる。

Table3- 7 4000～5000 m 層における海面高度変化

Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
フィリピン海盆(海盆1)	1.53E-02	-1.31E-02	2.25E-03
オーストラリア東部(海盆2)	3.58E-03	-1.99E-04	3.38E-03
東カロリン海盆(海盆3)	1.05E-02	3.09E-02	4.14E-02
北西太平洋海盆(海盆4)	5.19E-02	4.10E-02	9.29E-02
南西太平洋海盆(海盆5)	1.10E-01	2.65E-02	1.37E-01
ペルー沖(海盆6)	8.74E-03	-4.11E-03	4.63E-03
南西太平洋海盆東部(海盆7)	1.58E-02	3.07E-03	1.89E-02
中央太平洋海盆(海盆8)	1.10E-01	-2.01E-02	8.97E-02
北太平洋中央部(海盆9)	3.74E-02	-4.34E-02	-6.01E-03
北太平洋東部(海盆10)	8.39E-03	-3.95E-02	-3.11E-02
東太平洋海盆(海盆11)	2.68E-02	-4.55E-02	-1.87E-02
東太平洋海盆東部(海盆12)	-3.18E-03	-1.44E-03	-4.63E-03
ベーリング海(海盆13)	2.11E-03	4.44E-05	2.15E-03

4000～5000 m 層における温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を MAP 化したものが Fig.3-19 である。

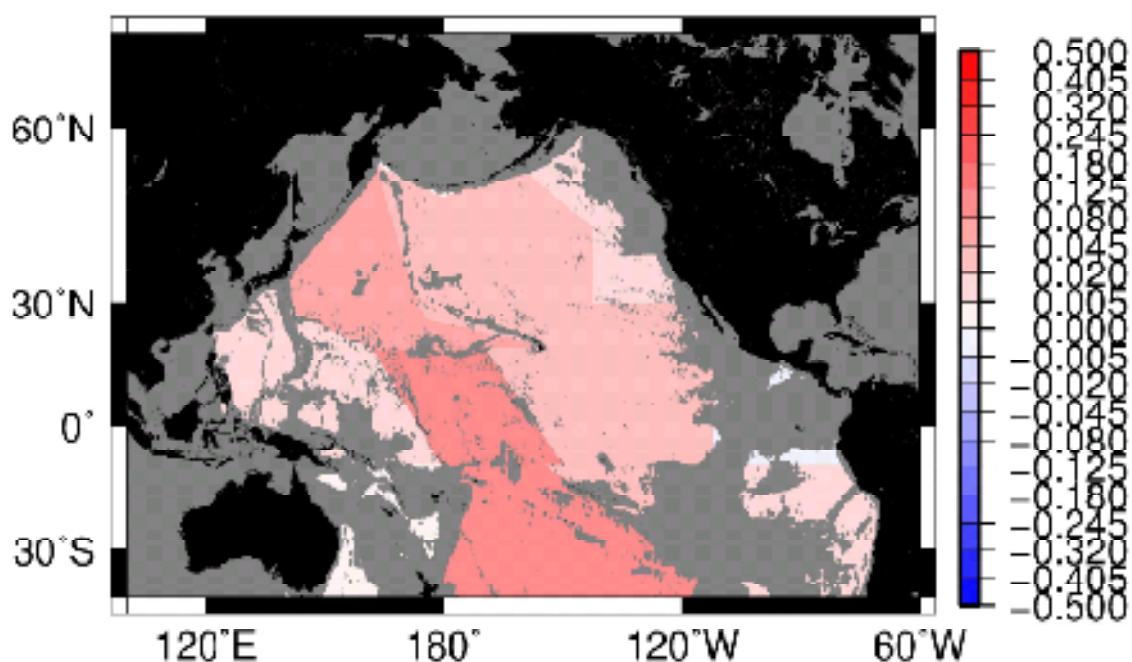


Fig.3- 19  $\Delta h_T$ 4000～5000 m (mm/year)  
4000～5000 m 層における温度変化による海面高度変化

南西太平洋海盆(海盆5)、中央太平洋海盆(海盆8)で海面高度変化  $\Delta h_T$  は大きく上昇、東太平洋海盆東部(海盆12)ではほぼ0、その他の海盆では上昇といった結果が得られた。この層(4000～5000 m)では、4000 m 以浅にも増して、ほぼすべての地域(東太平洋海盆東部(海盆12)のみ除く)で、温度変化が海面高度上昇に寄与



している。

4000～5000 m 層における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_s$  を MAP 化したのが Fig.3-20 である。

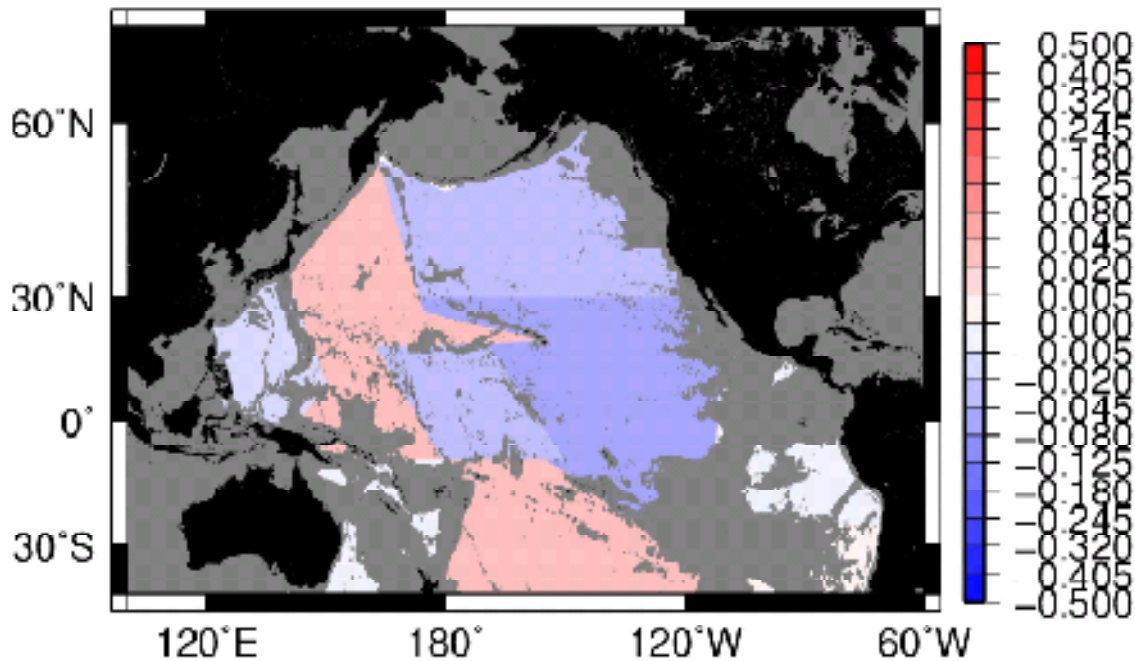
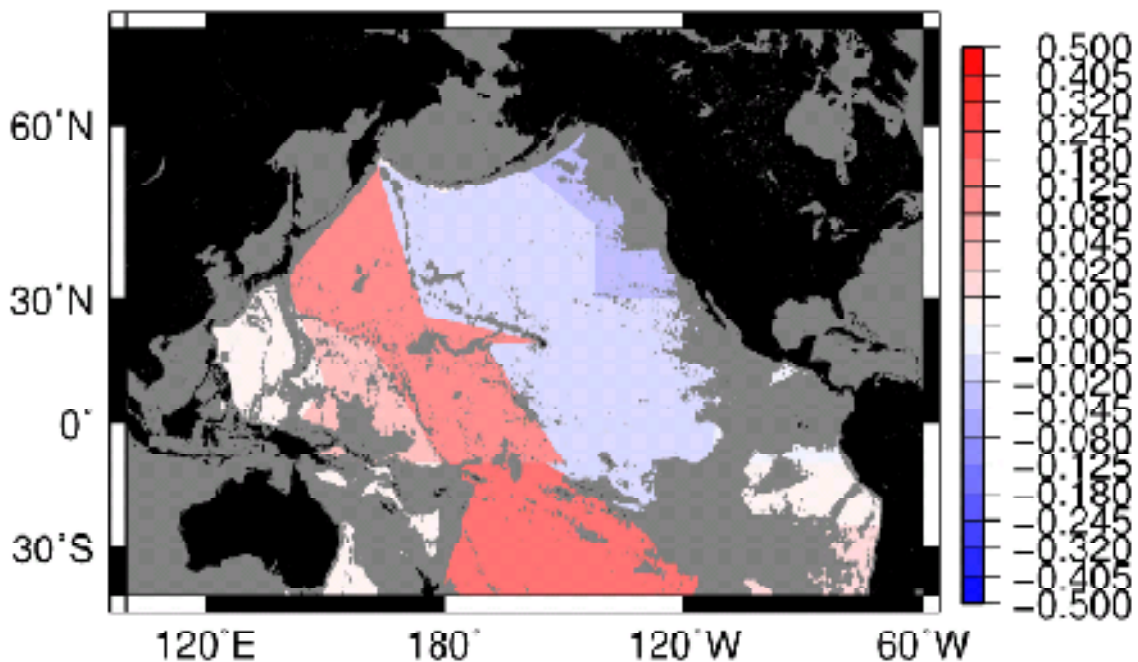


Fig.3- 20  $h_{s4000\sim5000}$  m (mm/year)  
4000～5000 m 層における塩分変化による海面高度変化

海面高度変化  $\Delta h_s$  は東カロリン海盆（海盆 3）、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）で上昇、オーストラリア東部（海盆 2）、ペルー沖（海盆 6）、南西太平洋海盆東部（海盆 7）、東太平洋海盆東部（海盆 12）ではほぼ 0、フィリピン海盆（海盆 1）、中央太平洋海盆（海盆 8）、北太平洋中央部（海盆 9）、北太平洋東部（海盆 10）、東太平洋海盆（海盆 11）で下降といった結果が得られた。この層（4000～5000 m）でも 3000～4000 m での層と同様、2000～3000 m の層に比べ、塩分変化により海面高度の下降に寄与している海盆が増えたと言える。また 4000 m 以浅の地域では、北太平洋東部（海盆 10）で大きく下降に寄与しているという特徴が見られたが、この層ではその特徴が見られない。

4000～5000 m 深における  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-21 である。



**Fig.3- 21  $\Delta h$ -4000～5000 m (mm/year)**  
**4000～5000 m 層における海面高度変化**

温度および塩分の変化による海面高度変化の和  $\Delta h$  を計算した結果、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）、中央太平洋海盆（海盆 8）で非常に大きな上昇、東カロリン海盆（海盆 3）、南西太平洋海盆東部（海盆 7）でやや上昇、北太平洋中央部（海盆 9）、北太平洋東部（海盆 10）、東太平洋海盆（海盆 11）で下降といった結果が得られた。この層（4000～5000 m）では、海面高度変化が、東部で下降、南西部で上昇といった大きな構造が鮮明に表れた。詳しくは 3-3 で述べるが、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）、中央太平洋海盆（海盆 8）で大きな海面高度上昇がみられるのは、深層流の影響と考えられるが、それについては後で詳しく考察する。

### 3-1-2 各層における海面高度変化への寄与

各層において、温度変化、塩分変化がそれぞれどのように海面高度変化に寄与しているかを見るため、横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、全海盆において水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたものを Fig.3-22 から Fig.3-24 に示す。これらの図を見ると海盆毎に異なる特徴があることがわかる。そこで、海盆毎に詳しく調べた。

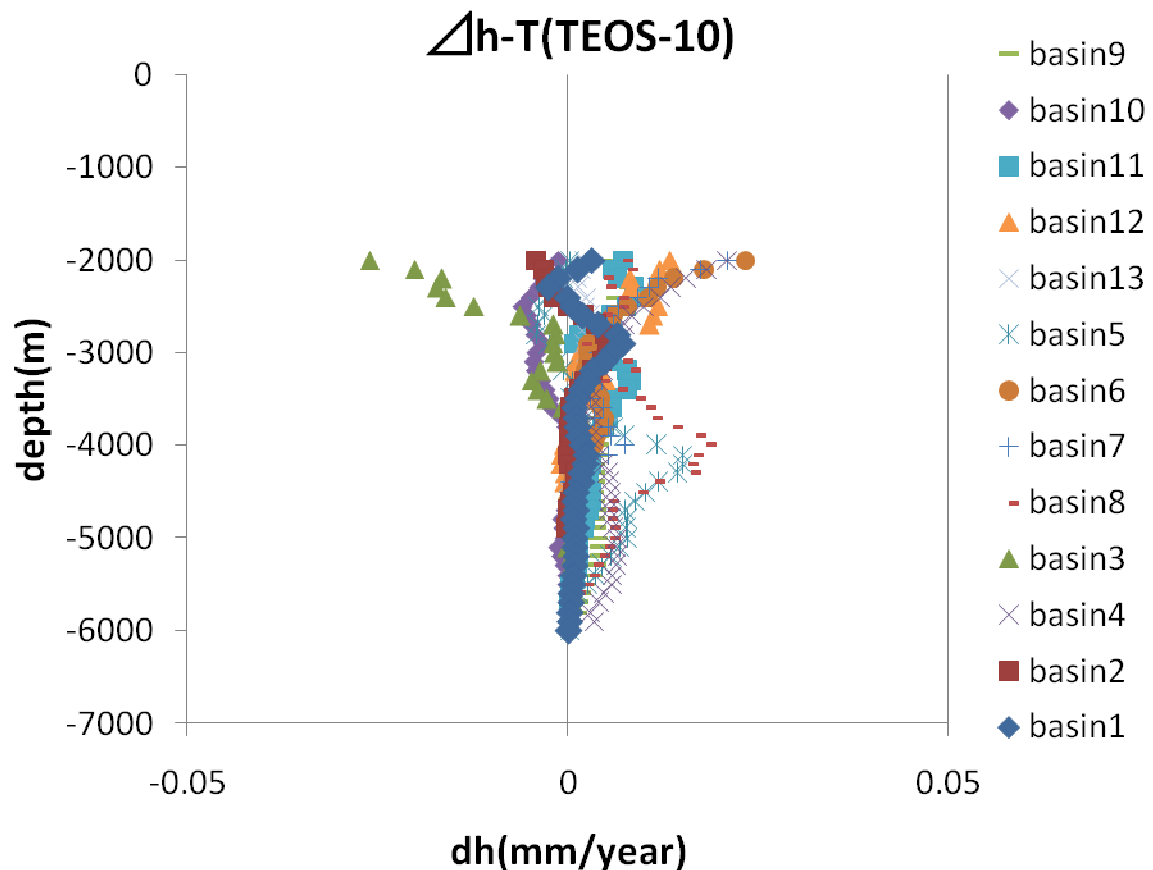


Fig.3- 22 温度による各層の  $\Delta h_T$  (mm/year)

横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、全海盆において水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  をプロットしたもの



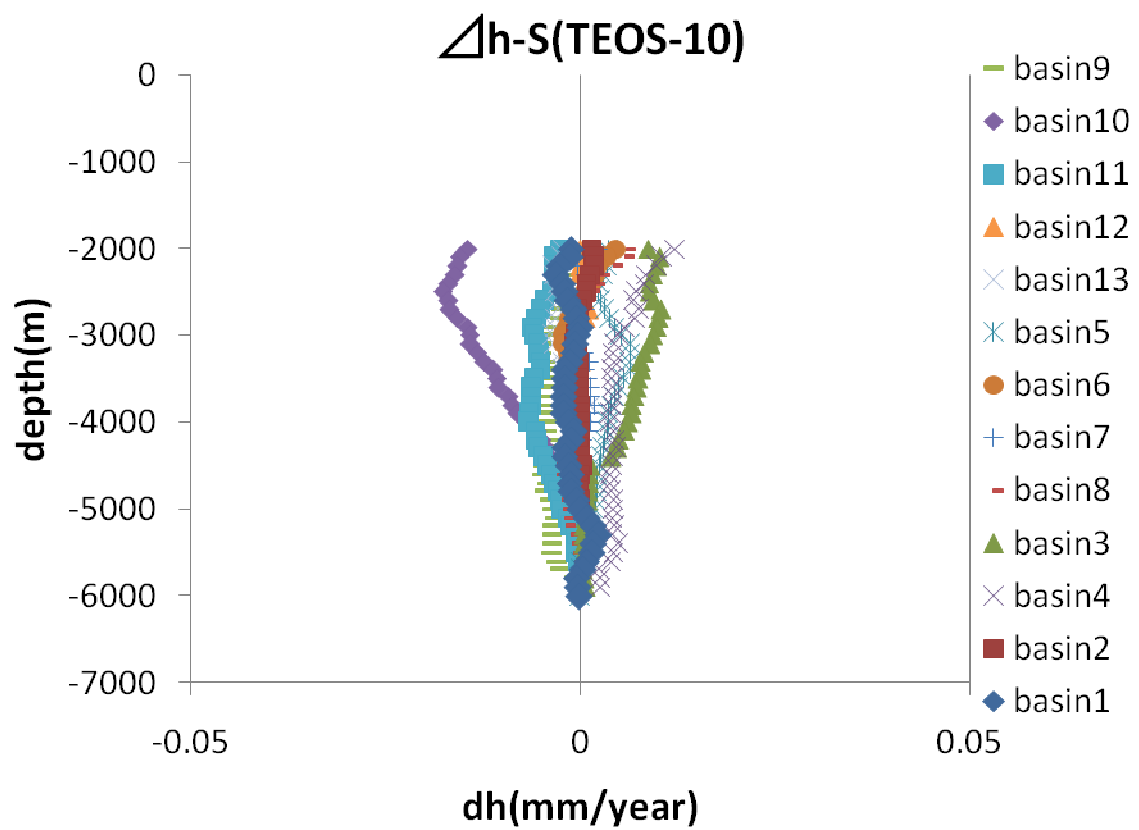


Fig.3- 23 塩分による各層の  $\Delta h_s$  (mm/year)

横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、全海盆において塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_s$  をプロットしたもの

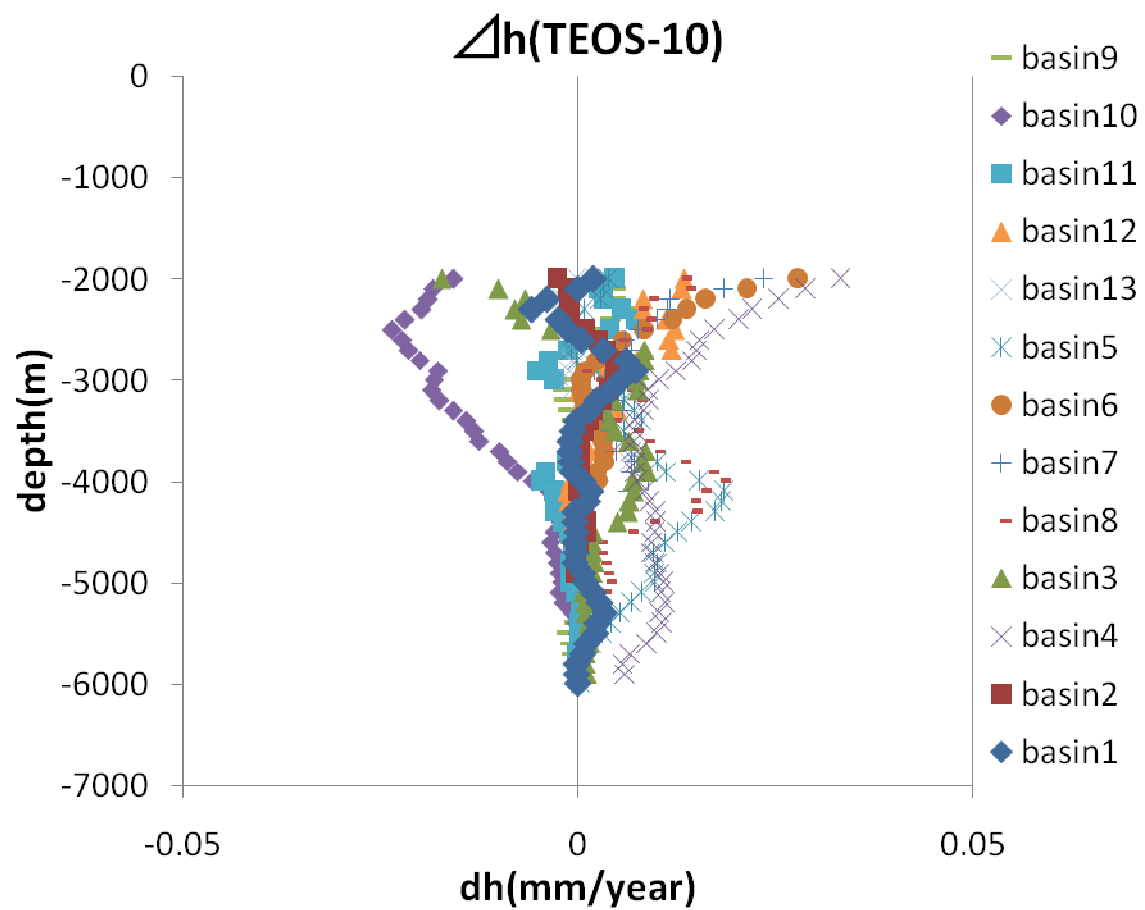


Fig.3- 24 各層の  $\Delta h$  (mm/year)

横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、全海盆において水温変化および塩分変化による海面高度変化の和  $\Delta h$  をプロットしたもの

(1) フィリピン海盆

Fig.3-25 にフィリピン海盆（海盆 1）における各層の  $\Delta h$  を示す。塩分変化による海面高度変化は、ほとんどが 0 に近い値であるため、トータル海面高度変化はほぼ水温変化に起因する（そのため、 $\Delta h_T$  と  $\Delta h$  は重なっている）。水温変化による海面高度変化は各層とも概ねプラス（即ち上昇）であり、3000 m 深付近に極大を、2200m 深付近に極小をもつものの、その値は概ね小さく、変化の少ない海盆と言える。

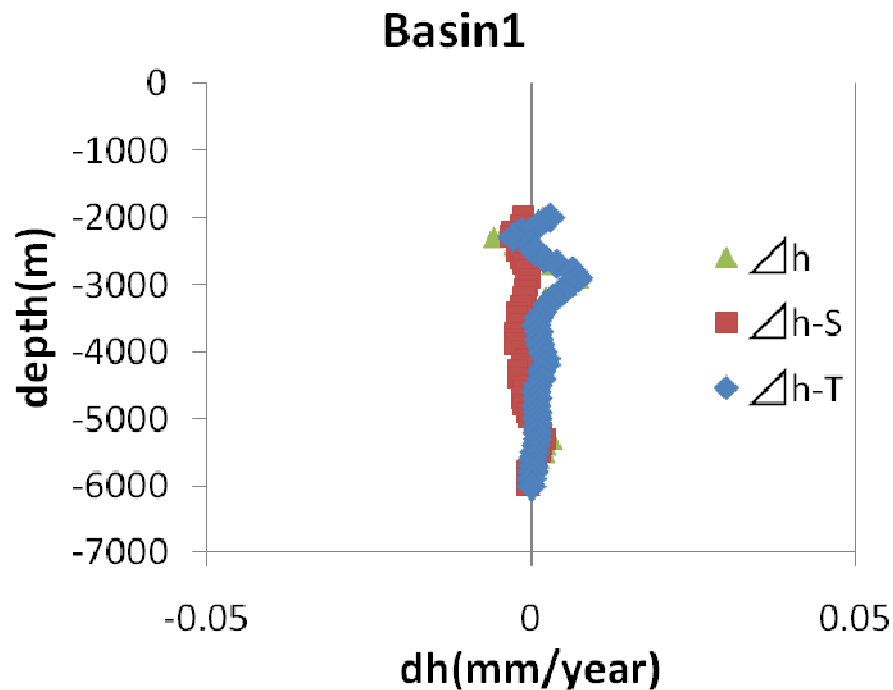
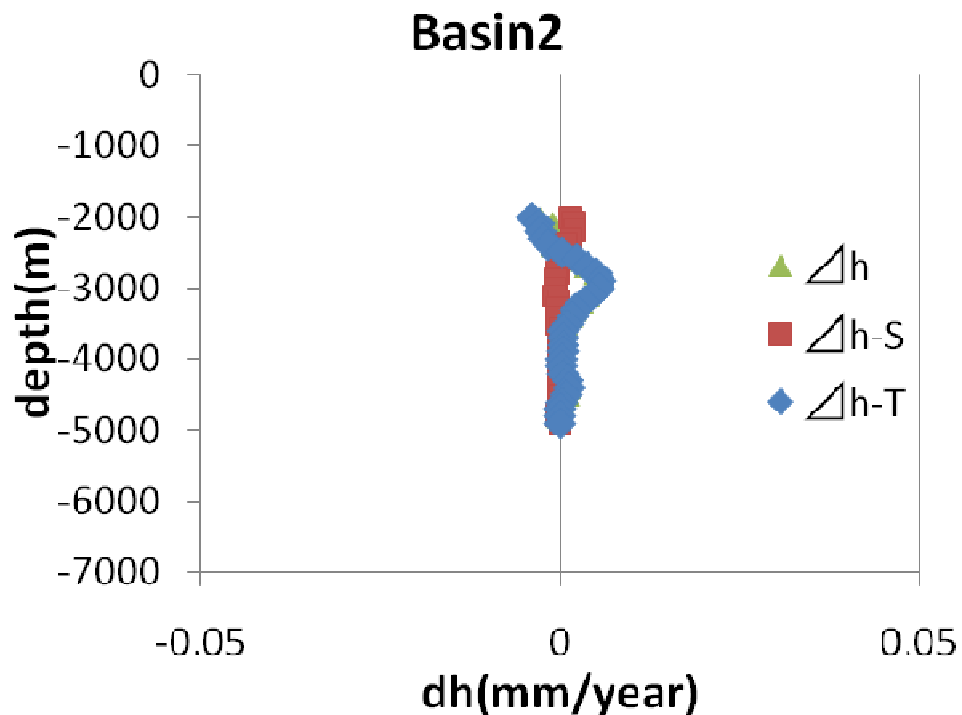


Fig.3- 25 フィリピン海盆（海盆 1）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

(2) オーストラリア東部



**Fig.3- 26 オーストラリア東部（海盆 2）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)**  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-26 にオーストラリア東部（海盆 2）における各層の  $\Delta h$  を示す。フィリピン海盆（海盆 1）と同様に、塩分変化による海面高度変化ほとんどが 0 に近い値であるため、トータルの海面高度変化はほぼ水温変化に起因する。水温変化による海面高度変化は、2000 m 付近ではマイナス（即ち下降）であり、深度とともに増加しながら 3000 m 深付近に極大となる。その後は序々に減少して 0 に近づいている。海面水位変化の値は概ね小さく、フィリピン海盆（海盆 1）同様、変化の少ない海盆と言える。

(3) 東カロリン海盆

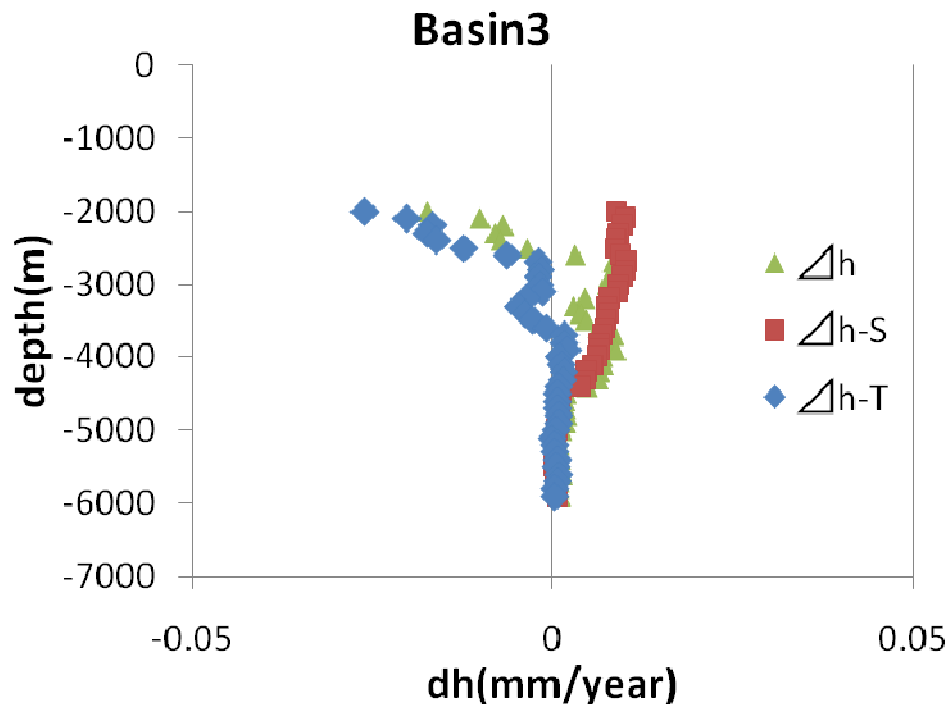


Fig.3- 27 東カロリン海盆（海盆 3）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩  
分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-27 は東カロリン海盆（海盆 3）における各層の  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化は 4000 m 以深で、塩分変化による海面高度変化が 4500m 以深で、ほとんど 0 であるが、温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  は 4000 m 以浅でマイナスとなり、2000 m 深では約 0.03mm/year の下降が見られる。また、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  は 4500m 以浅で水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  とは逆に徐々にプラスとなる。2800m 深付近までは、塩分変化による  $\Delta h_S$  のほうが大きいため、両者の和  $\Delta h$  はプラスとなっているが、それ以浅では、 $\Delta h_T$  のほうが大きくなり、両者の和はマイナス（すなわち海面高度下降）に転じる。

(4) 北西太平洋海盆

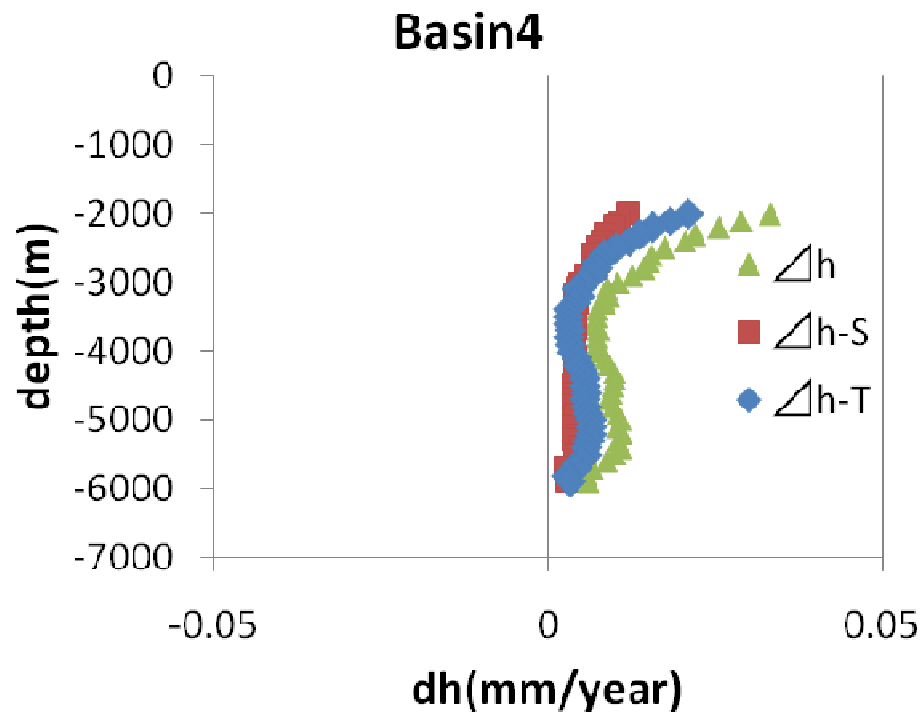
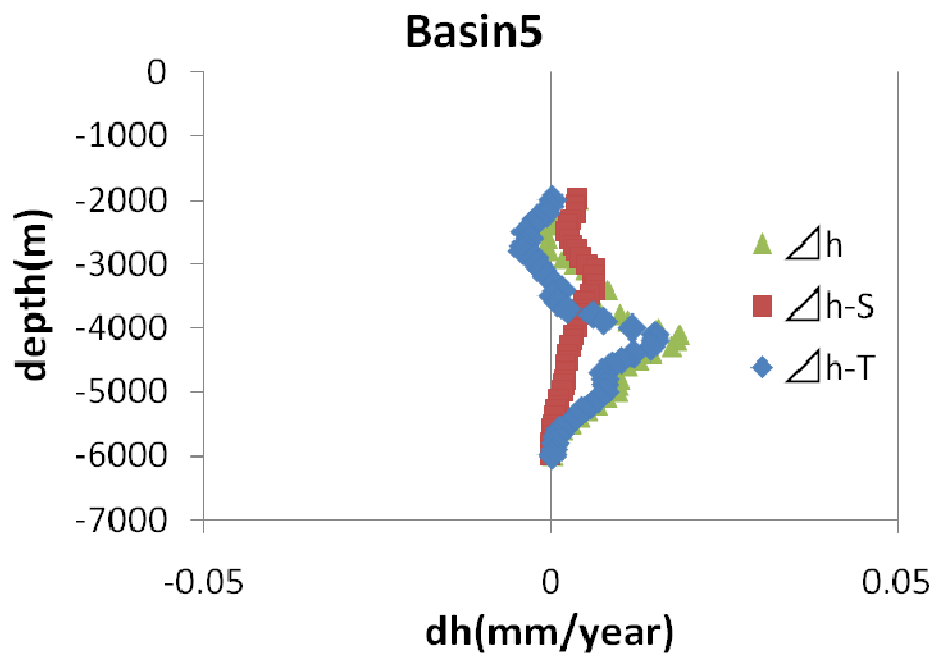


Fig.3- 28 北西太平洋海盆（海盆 4）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-28 は北西太平洋海盆（海盆 4）における各層の  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  も塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  も常にプラス（すなわち海面高度上昇）の値となっており、特に -2000 m では大きくなる。 $\Delta h_T$  も  $\Delta h_S$  もプラス（すなわち海面高度上昇）であるため、 $\Delta h$  は大きくプラスとなる。

(5) 南西太平洋海盆



**Fig.3- 29 南西太平洋海盆（海盆 5）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)**  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-29 は南西太平洋海盆（海盆 5）における各層の海面高度変化  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  は 6000 m 深では 0 に近いが、4000 m 深付近でプラス（すなわち海面高度上昇）のピークを迎え、3000 m 以浅で再び 0 に近づく。つまり 4000 m 深付近でもっとも海面高度の上昇に寄与していることがわかる。塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  はややプラス（すなわち海面高度上昇）の傾向だが小さな値である。よって、南西太平洋海盆（海盆 5）においては、温度変化の海面高度上昇への寄与が大きい。



(6) ペルー沖

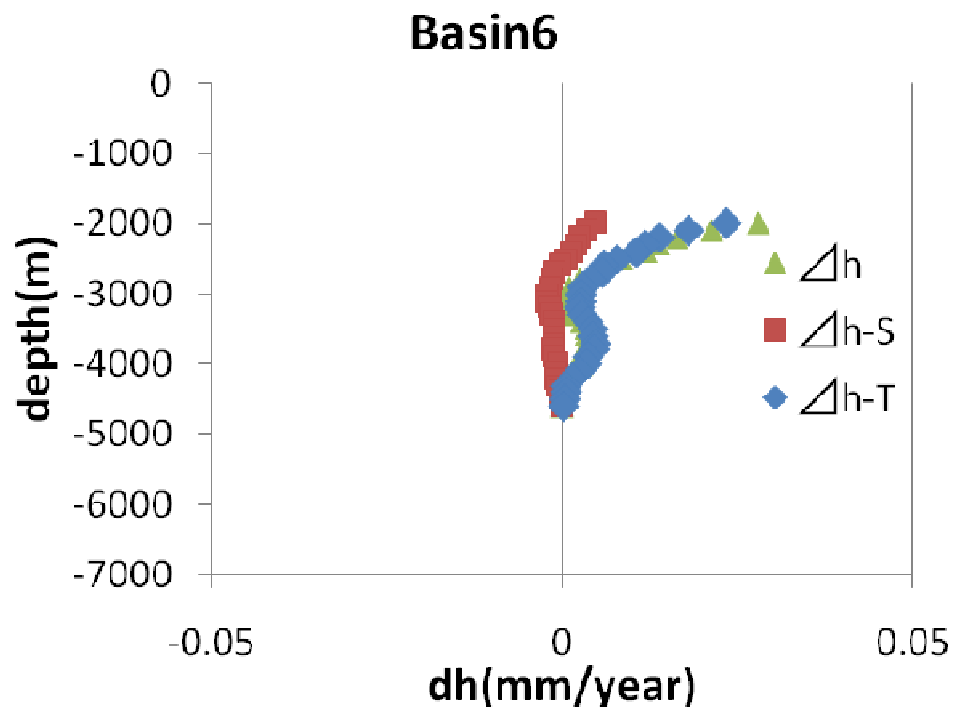


Fig.3- 30 ペルー沖（海盆 6）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-30 はペルー沖（海盆 6）における各層の海面高度変化  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  は 3000 m 以深では 0 に近いが、そこから海面高度上昇に寄与し、2000 m では 0.03mm/year と大きな値となる。一方、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  はほとんど 0 である。よって海面高度変化には温度変化の寄与が大きい。

(7) 南西太平洋海盆東部

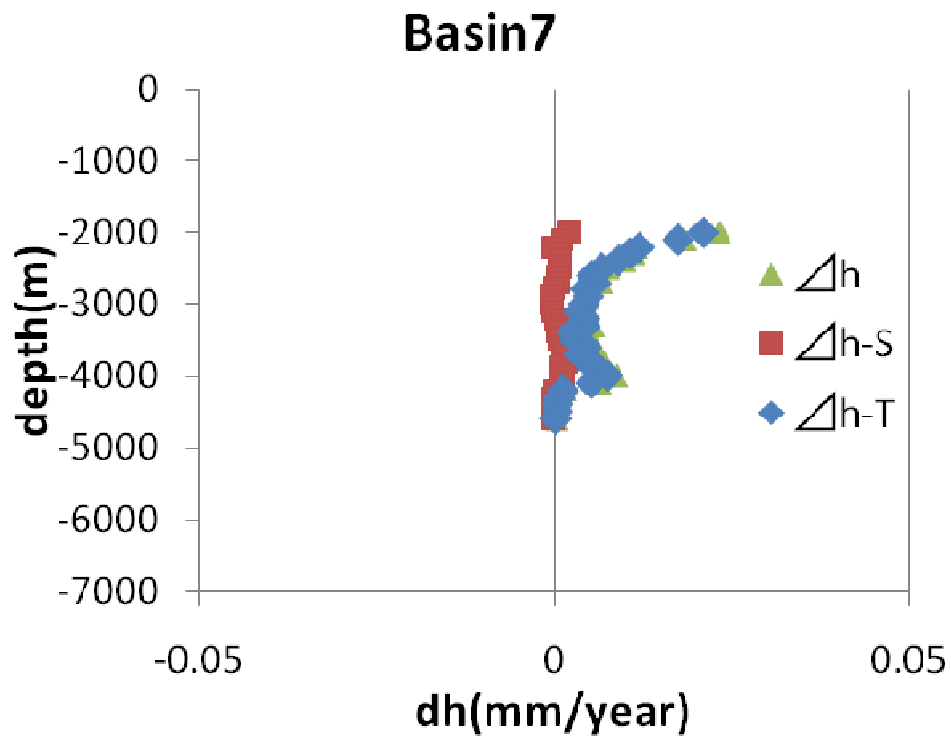


Fig.3- 31 南西太平洋海盆東部（海盆 7）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩  
分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-31 は南西太平洋海盆東部(海盆 7)における各層の海面高度変化  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  は 3000 m 以深では 0 に近いが、そこから海面高度上昇に寄与し始める。一方、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  はほとんど 0 である。よって海面高度変化には、温度変化の寄与が大きい。

(8) 中央太平洋海盆

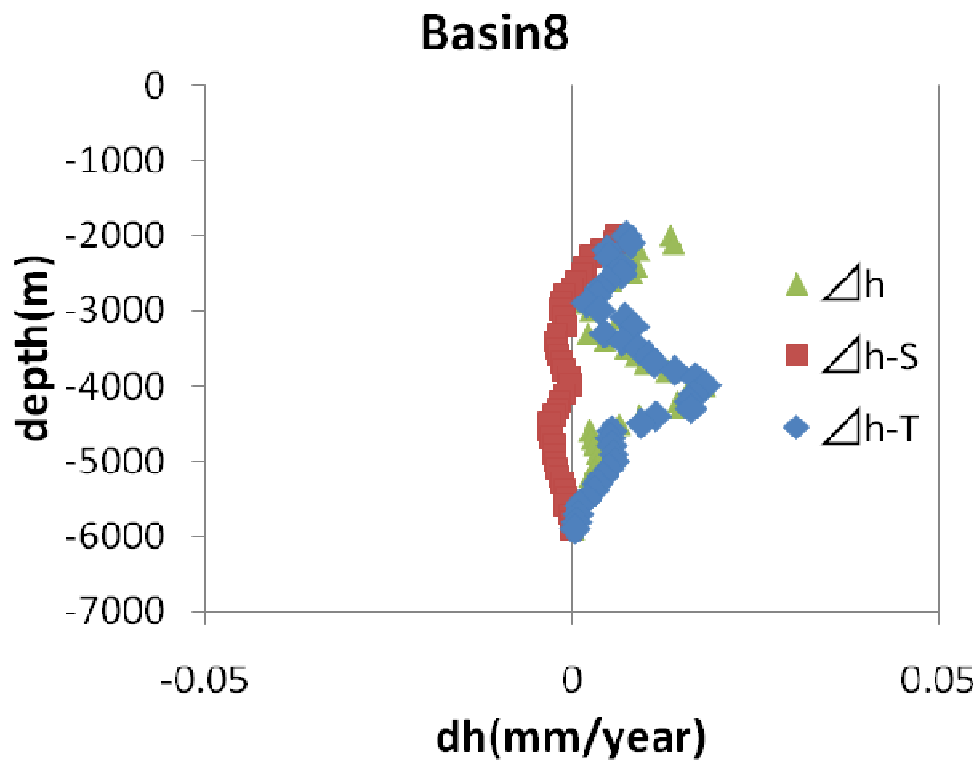
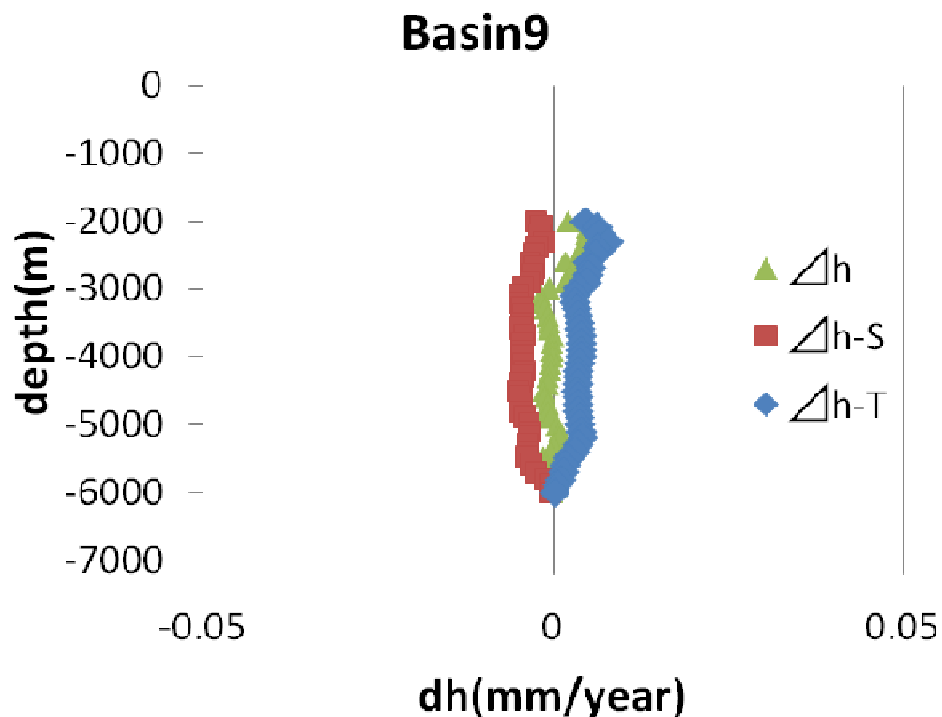


Fig.3- 32 中央太平洋海盆（海盆 8）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

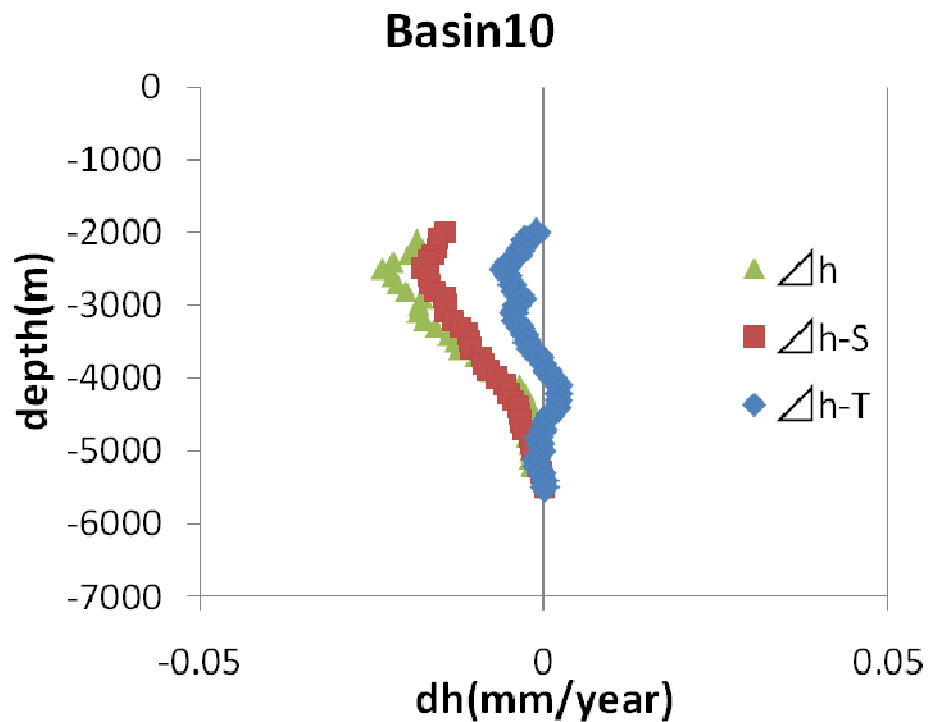
Fig.3-32 は中央太平洋海盆（海盆 8）における各層の海面高度変化  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  は 4000 m 深でもっとも上昇に寄与している。一方、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  はほとんど 0 である。よって海面高度変化  $\Delta h$  には温度変化の寄与が大きい。

(9) 北太平洋中央部



**Fig.3- 33 北太平洋中央部（海盆 9）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)**  
 横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

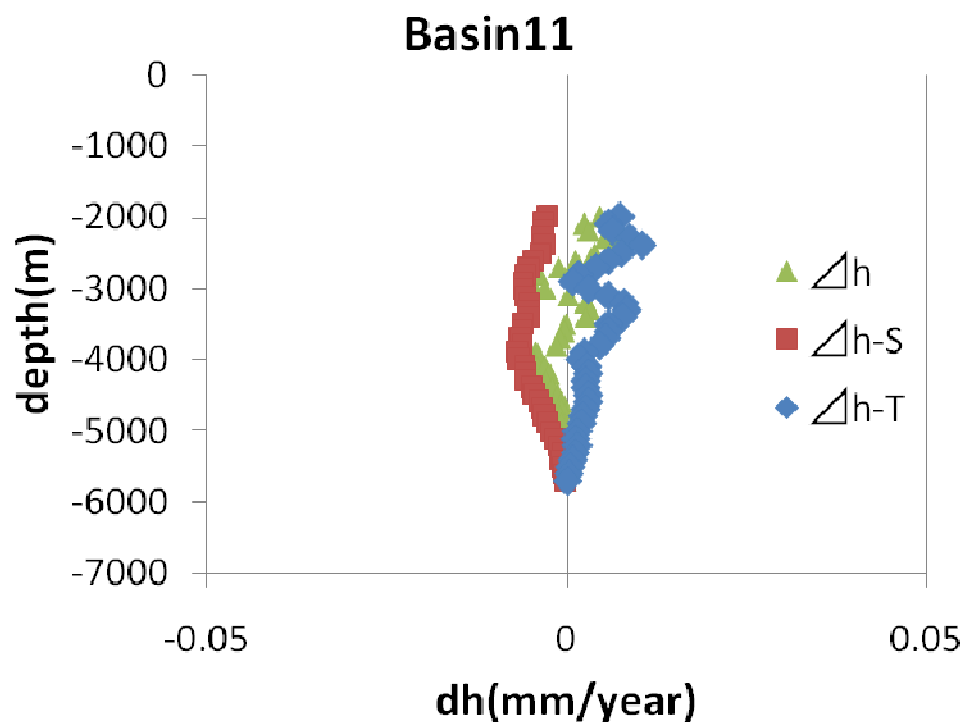
Fig.3-33 は北太平洋中央部（海盆 9）における各層の海面高度変化  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  は全層で若干海面高度上昇への寄与が見られる。一方、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  は全層で若干下降への寄与が見られる。よって海面高度変化  $\Delta h$  は相殺されてほとんど 0 の値をとる。



**Fig.3- 34 北太平洋東部（海盆 10）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)**  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-34 は北太平洋東部（海盆 10）における各層の海面高度変化  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  は全層で 0 に近い値となる。一方、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  は 6000 m 深ではほとんど 0 であるが、徐々に下降への寄与が大きくなる。よって海面高度変化  $\Delta h$  には塩分変化の寄与が大きい。

(1 1) 東太平洋海盆

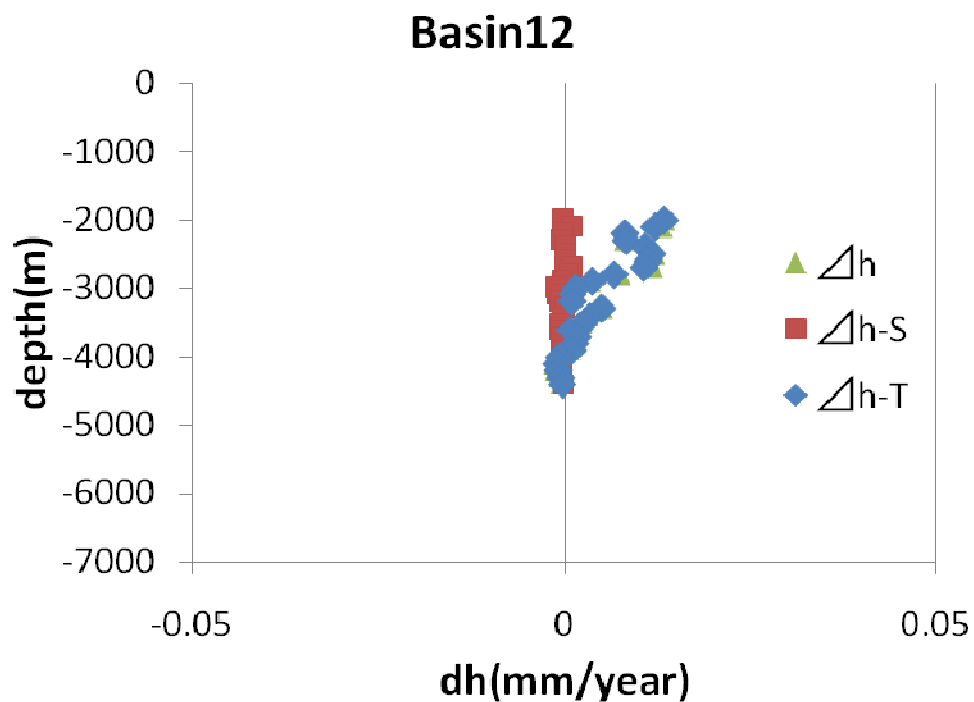


**Fig.3- 35 東太平洋海盆（海盆 11）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)**  
 横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_s$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-35 は東太平洋海盆（海盆 11）における各層の海面高度変化  $\Delta h$  である。温度による海面高度変化  $\Delta h_T$  は 6000 m 深では 0 に近いが、そこからやや上昇に寄与し始める。一方、塩分による海面高度変化  $\Delta h_s$  は 6000 m 深ではほとんど 0 であるがそこから下降に寄与し始める。海面高度変化  $\Delta h$  は相殺されて 0 に近い値となる。



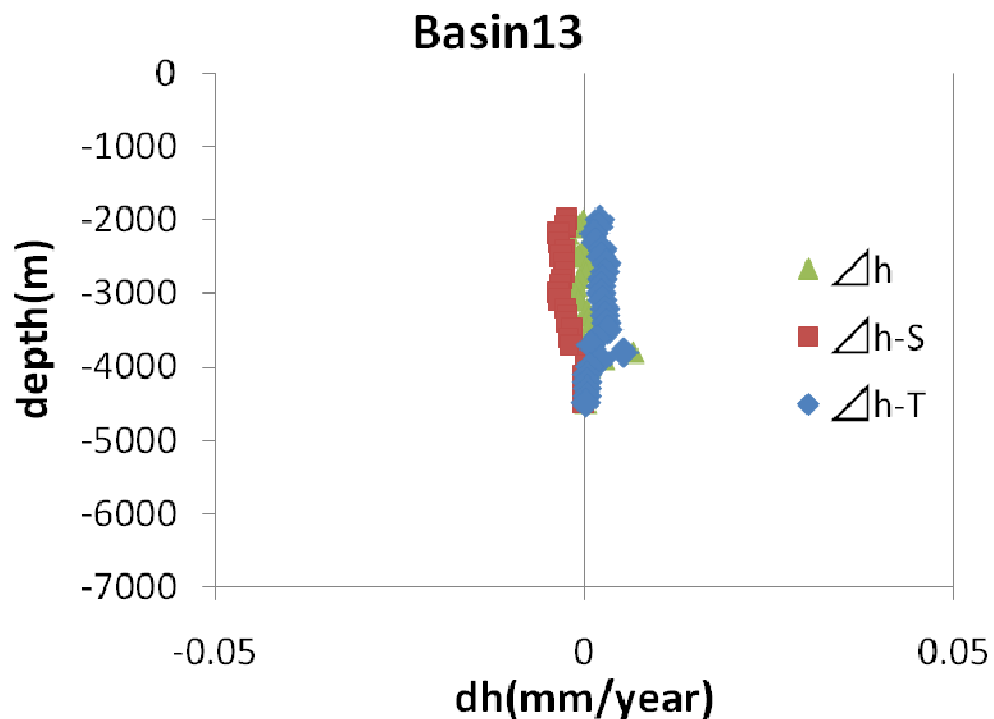
(12) 東太平洋海盆東部



**Fig.3- 36 東太平洋海盆東部（海盆 12）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)**  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-36 は東太平洋海盆東部（海盆 12）における各層の海面高度変化  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  は 3000 m 以深では 0 に近いが、そこから上昇に寄与し始める。一方、塩分による海面高度変化  $\Delta h_S$  はほとんど 0 である。よって海面高度変化  $\Delta h$  には温度変化の寄与が大きい。

(13) ベーリング海



**Fig.3- 37** ベーリング海（海盆 13）における各層の  $\Delta h$  (mm/year)  
横軸に  $\Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩  
分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-37 はベーリング海（海盆 13）における各層の海面高度変化  $\Delta h$  である。温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  も塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  はほとんど 0 である。よって海面高度変化  $\Delta h$  もほとんど 0 となる。

### 3-1-3 海盆毎の海面高度変化の特徴

次に、横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、全海盆において水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたものを Fig.3-38 から 40 に示す。3-1-2 節と同様に、海盆毎に異なる特徴があるため、以下にその特徴を詳しく述べる。

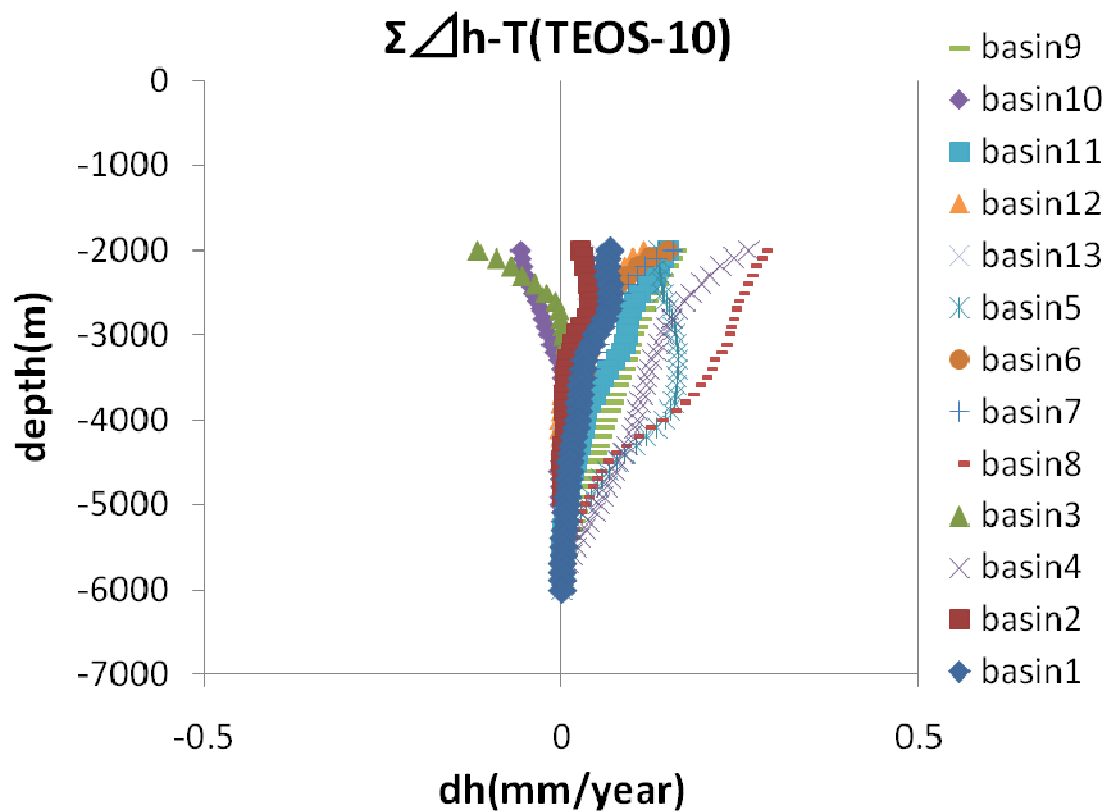
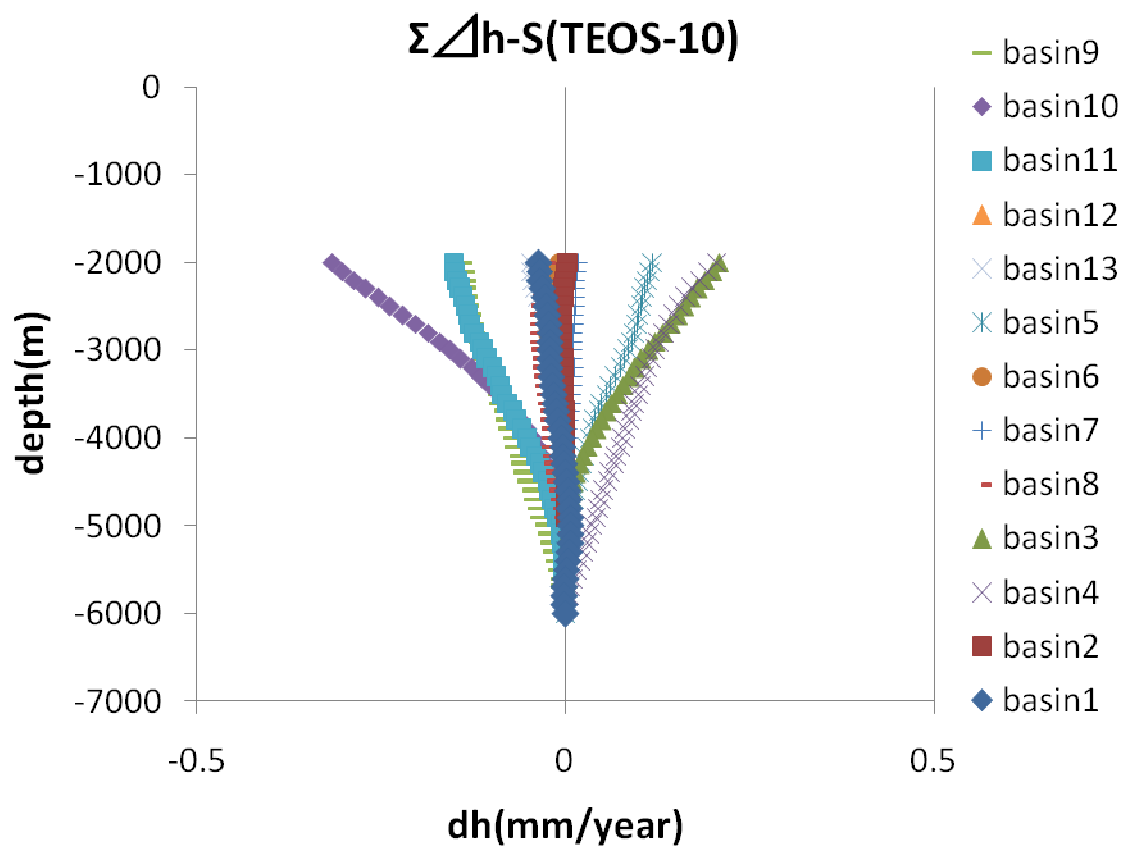


Fig.3- 38 温度による  $\Delta h_T$  の積算

横軸に  $\Sigma \Delta h_T$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、全海盆において水温による海面高度上昇の積算  $\Sigma \Delta h_T$  をプロットしたもの



**Fig.3- 39 塩分による  $\Delta h_s$  の積算**  
 横軸に  $\Sigma \Delta h_s$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、全海盆において塩分による海面高度変化の積算  $\Sigma \Delta h_s$  をプロットしたもの

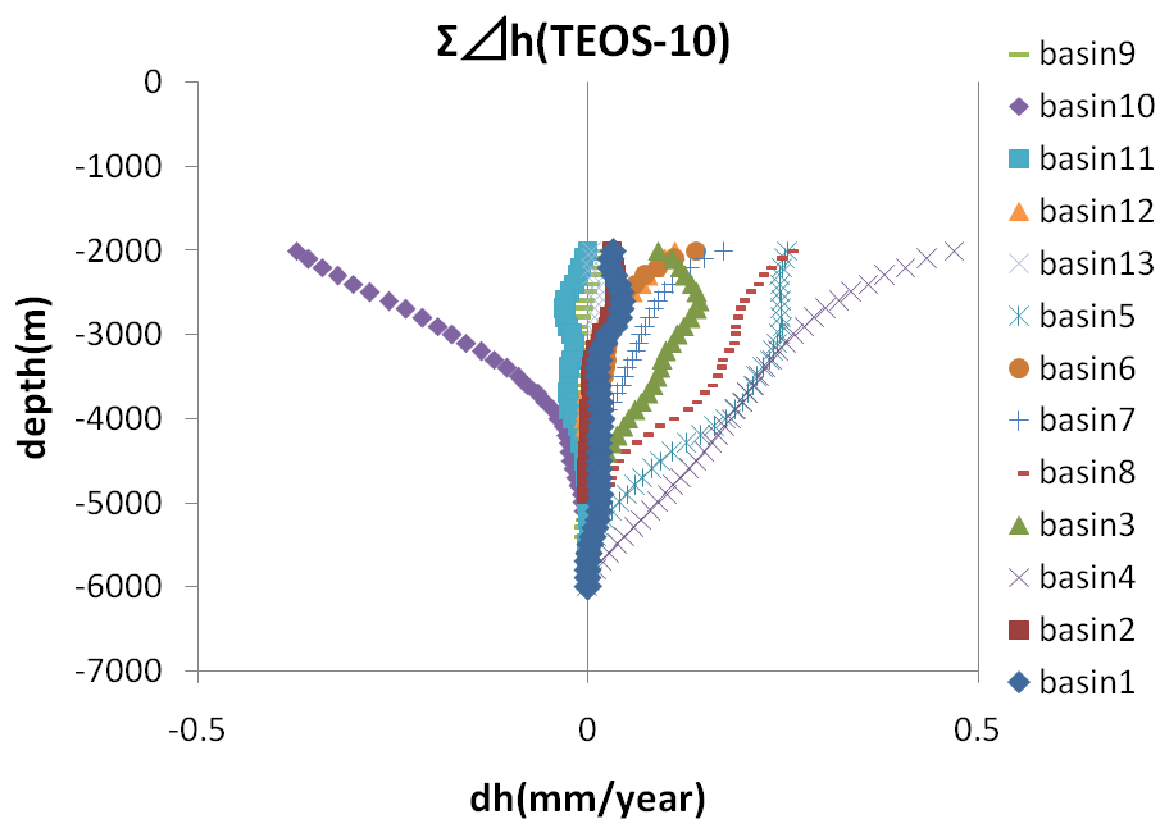
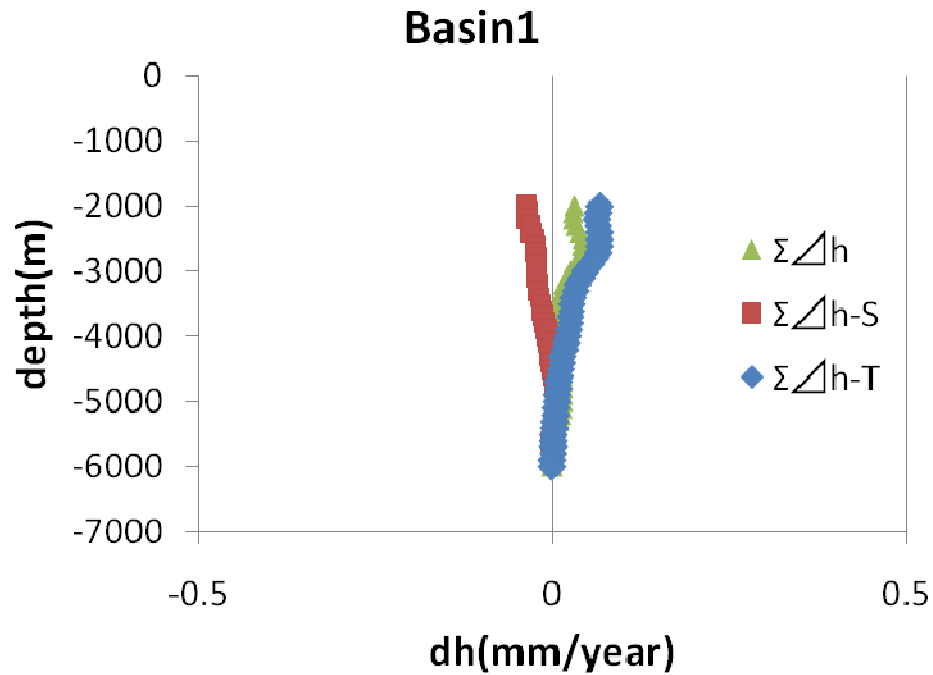


Fig.3- 40  $\Delta h$  の積算

横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、全海盆において水温と塩分による海面高度変化の積算の和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

(1) フィリピン海盆

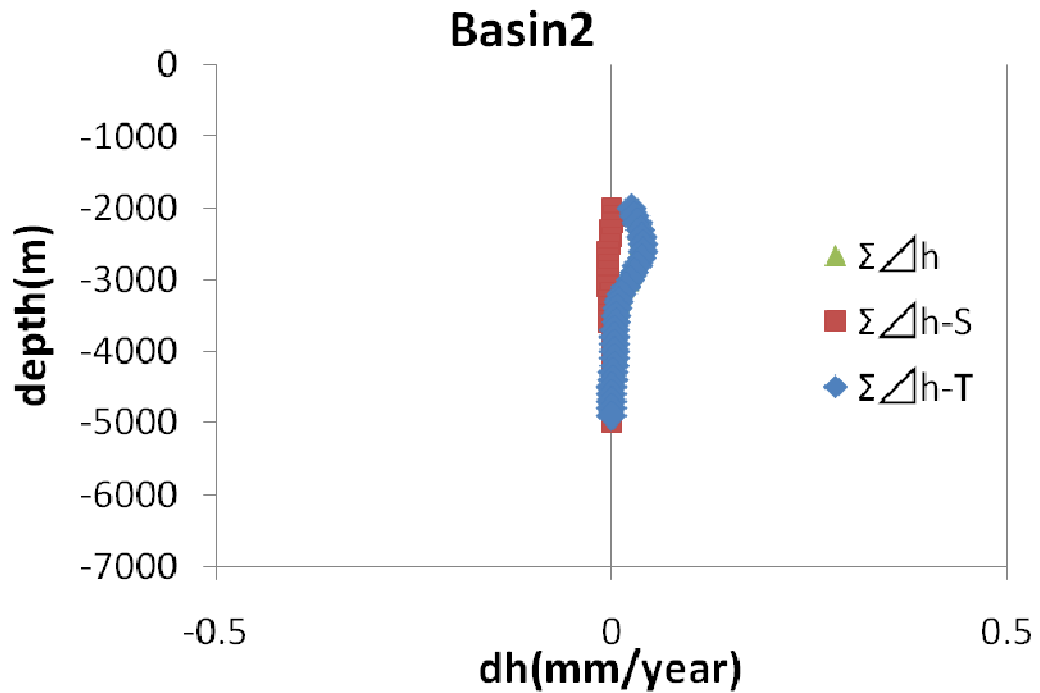


**Fig.3- 41** フィリピン海盆（海盆 1）における  $\Delta h$  の積算  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-41 にフィリピン海盆（海盆 1）における  $\Sigma \Delta h$  を示す。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  は概ね上昇傾向にあるがその値は小さい。塩分による  $\Sigma \Delta h_S$  はほぼゼロではあるが、概ね下降傾向にある。よって、3-1-2 節で述べた 3000 m 付近の極大の影響で、3000 m より浅い部分で若干の上昇傾向が見られるが、 $\Sigma \Delta h$  は、そもそも小さい上に、さらに相殺されるため非常に小さい値となり、変化の小さい海盆と言える。



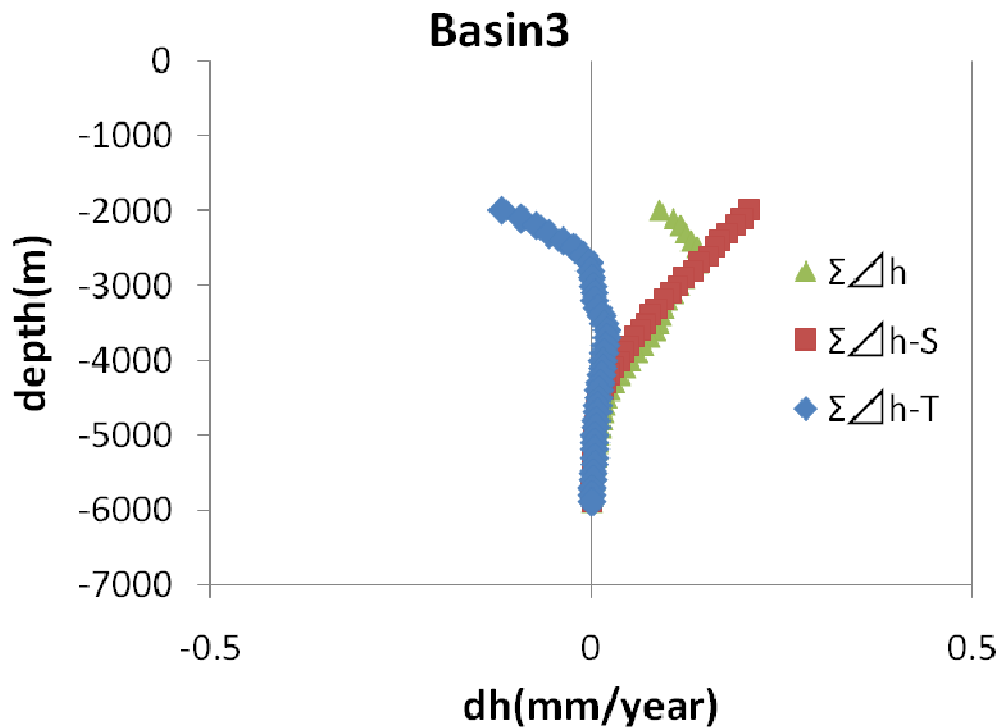
(2) オーストラリア東部



**Fig.3- 42 オーストラリア東部（海盆 2）における  $\Delta h$  の積算**  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-42 にオーストラリア東部（海盆 2）における  $\Sigma \Delta h$  を示す。フィリピン海盆と同様の傾向、すなわち、水温変化による  $\Sigma \Delta h_T$  も塩分変化による  $\Sigma \Delta h_S$  もほとんど 0 であり、3000 m 付近の極大の影響によってここより浅い部分では若干の下降傾向にあるものの  $\Sigma \Delta h$  は非常に小さい値となり、変化の小さい海盆と言える。

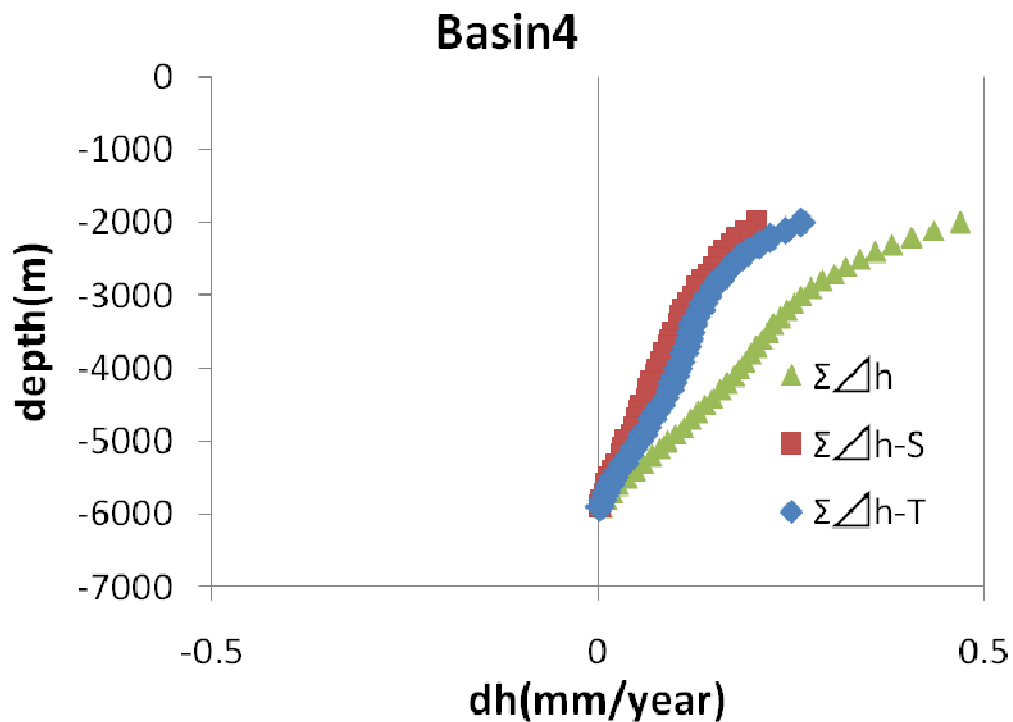
(3) 東カロリン海盆



**Fig.3- 43 東カロリン海盆（海盆 3）における  $\Delta h$  の積算**  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-43 は東カロリン海盆（海盆 3）における  $\Sigma \Delta h$  である。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  は 3000 m 深まではほとんど 0 であるが、そこから浅くなるにつれて徐々にマイナスになってゆき、一方、塩分変化による  $\Sigma \Delta h_S$  は 4000 m 以浅で徐々にプラス（すなわち海面高度上昇）になってゆく。両者の和  $\Sigma \Delta h$  は、3-1-2 (3) で見た通り、2800 m 付近を境として下降に転じるため、ここに極大を持つ。総じて  $\Sigma \Delta h_S$ 、即ち変分変化の影響の方を大きく受け、東カロリン海盆（海盆 3）では海面上昇に寄与する

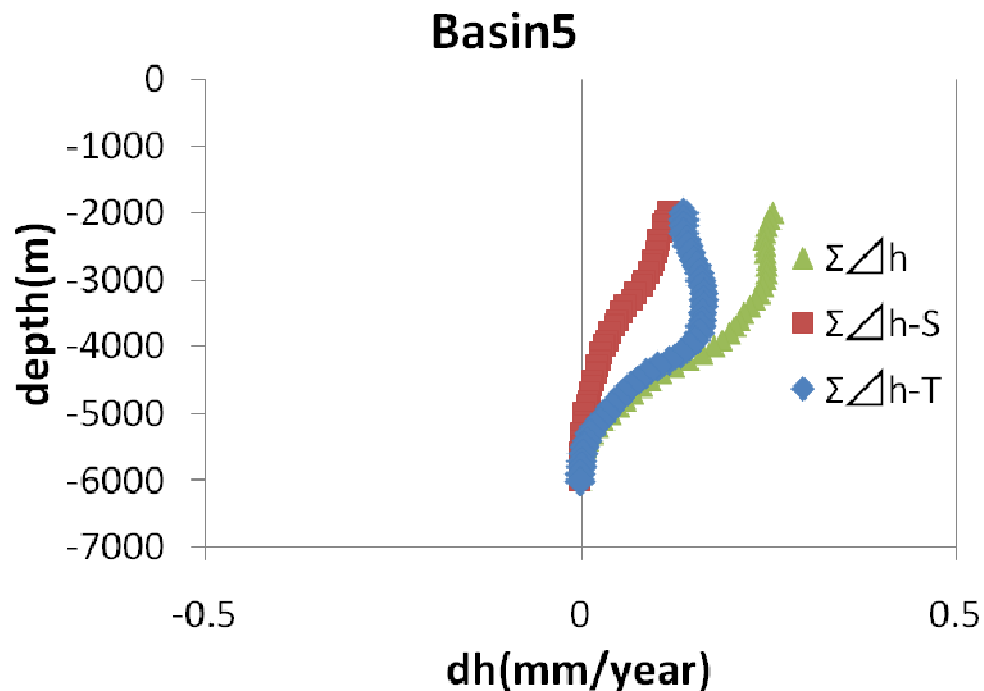
(4) 北西太平洋海盆



**Fig.3- 44** 北西太平洋海盆（海盆 4）における  $\Delta h$  の積算  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-44 は北西太平洋海盆（海盆 4）における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  も、塩分変化による  $\Sigma \Delta h_S$  も各深度で全てプラス（すなわち海面高度上昇）である。 $\Sigma \Delta h$  はその 2 つの和となるので北西太平洋海盆（海盆 4）は大きく海面高度が上昇する海盆となっている。

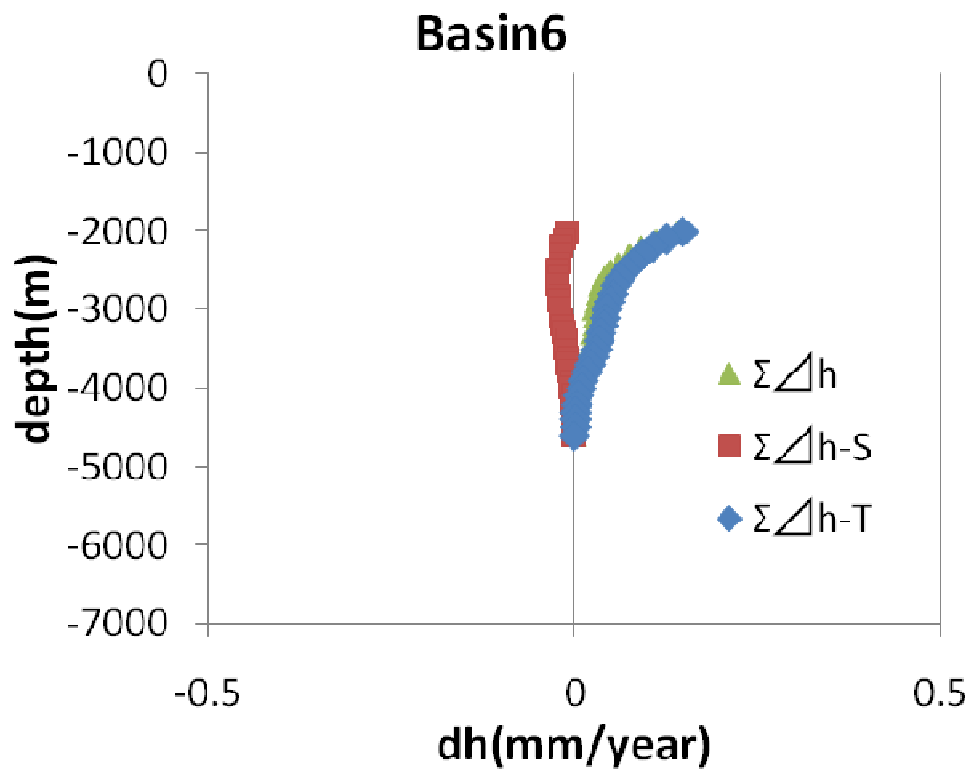
(5) 南西太平洋海盆



**Fig.3- 45 南西太平洋海盆（海盆 5）における  $\Delta h$  の積算**  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-45 は南西太平洋海盆（海盆 5）における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  は、5000~4000 m で大きく変化するがそれより浅い部分ではあまり変化しない。塩分変化による  $\Sigma \Delta h_S$  は各深度でプラス（すなわち海面高度上昇）である。温度、塩分どちらもプラス（すなわち海面高度上昇）であるため南西太平洋海盆（海盆 5）でも大きく海面高度は上昇している。

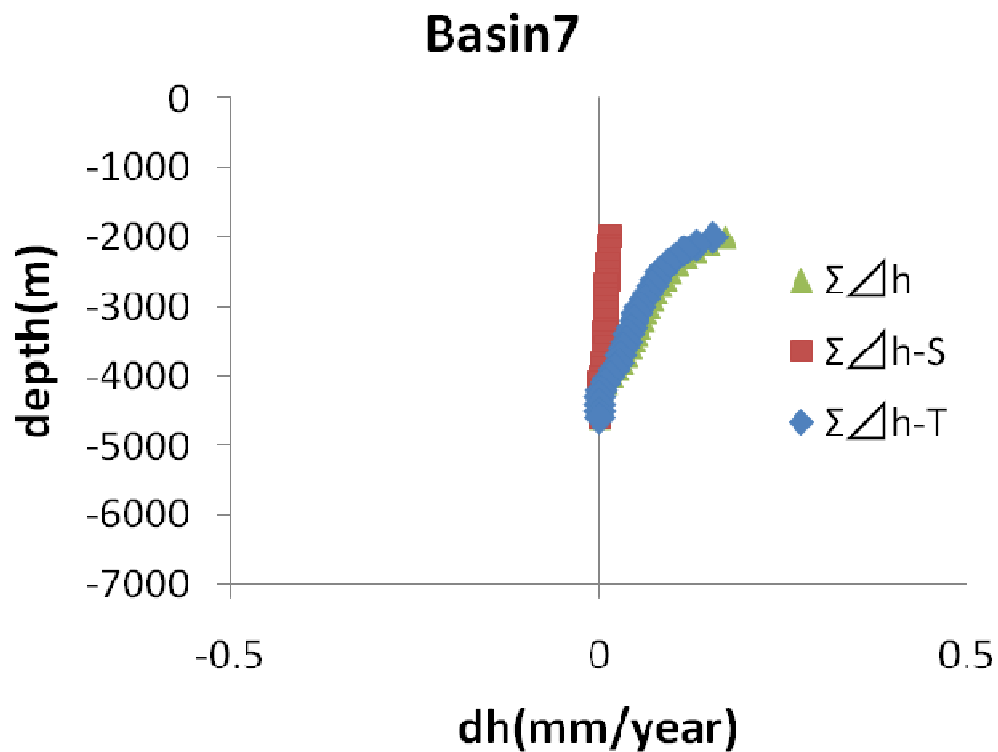
(6) ペルー沖



**Fig.3- 46 ペルー沖（海盆 6）における  $\Delta h$  の積算**  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-46 はペルー沖（海盆 6）における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  は各深度でプラス（すなわち海面高度上昇）となっている。一方、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$  はほとんど 0 である。よって  $\Sigma \Delta h$  は  $\Sigma \Delta h_T$  の影響を受け、各深度でプラス（すなわち海面高度上昇）となっている。

(7) 南西太平洋海盆東部

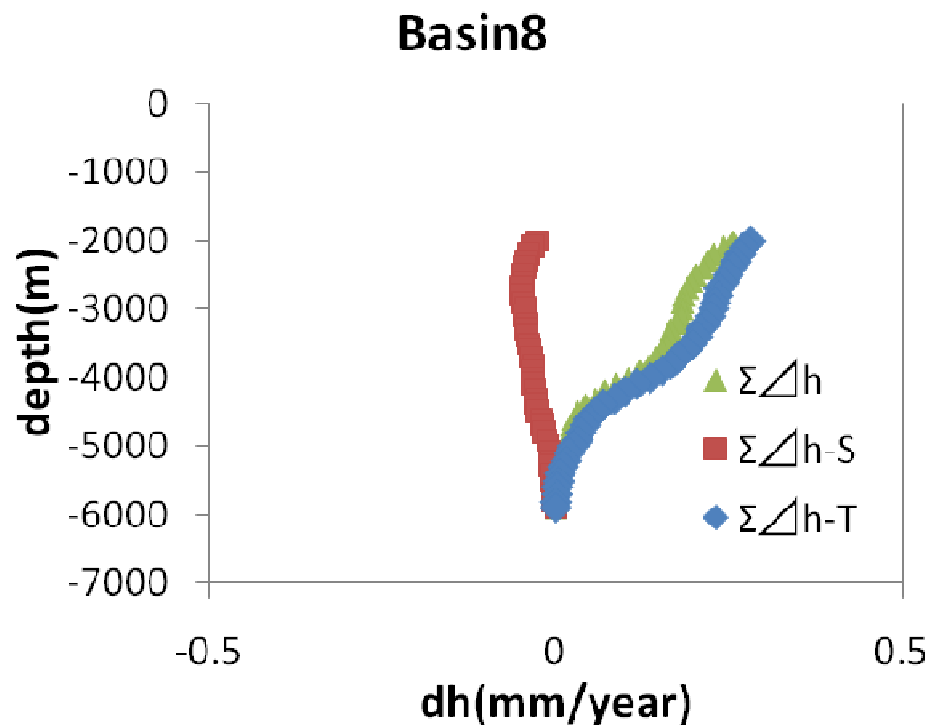


**Fig.3- 47** 南西太平洋海盆東部（海盆 7）における  $\Delta h$  の積算  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-47 は南西太平洋海盆東部（海盆 7）における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  は各深度でプラス（すなわち海面高度上昇）となっている。一方、塩分変化による  $\Sigma \Delta h_S$  はほとんど 0 である。よって  $\Sigma \Delta h$  は  $\Sigma \Delta h_T$  の影響を受け、各深度でプラス（すなわち海面高度上昇）となっている。



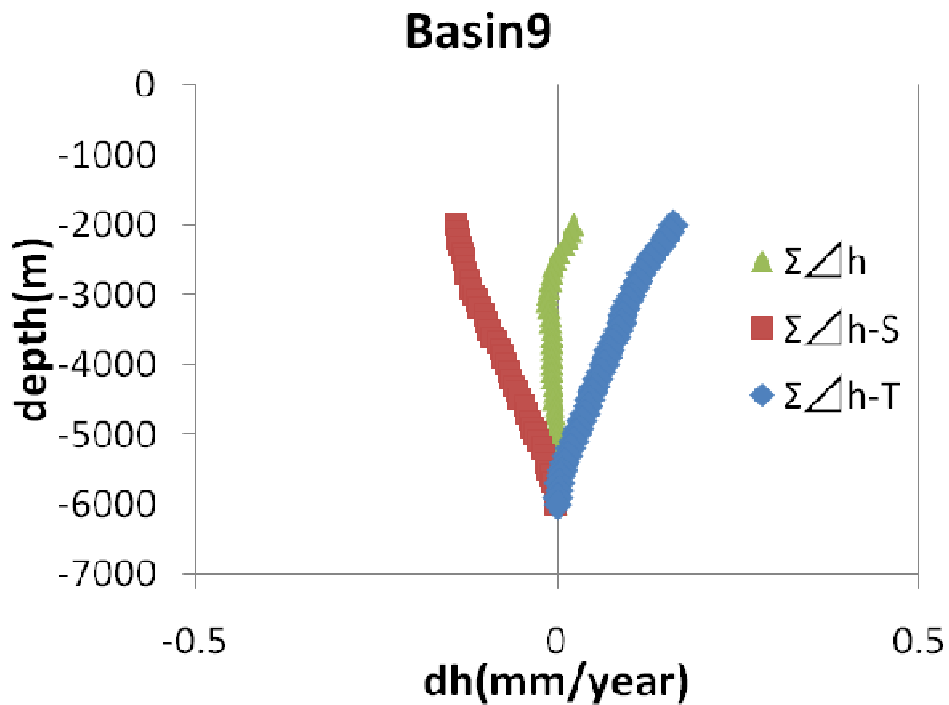
(8) 中央太平洋海盆



**Fig.3- 48** 中央太平洋海盆（海盆 8）における  $\Delta h$  の積算  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

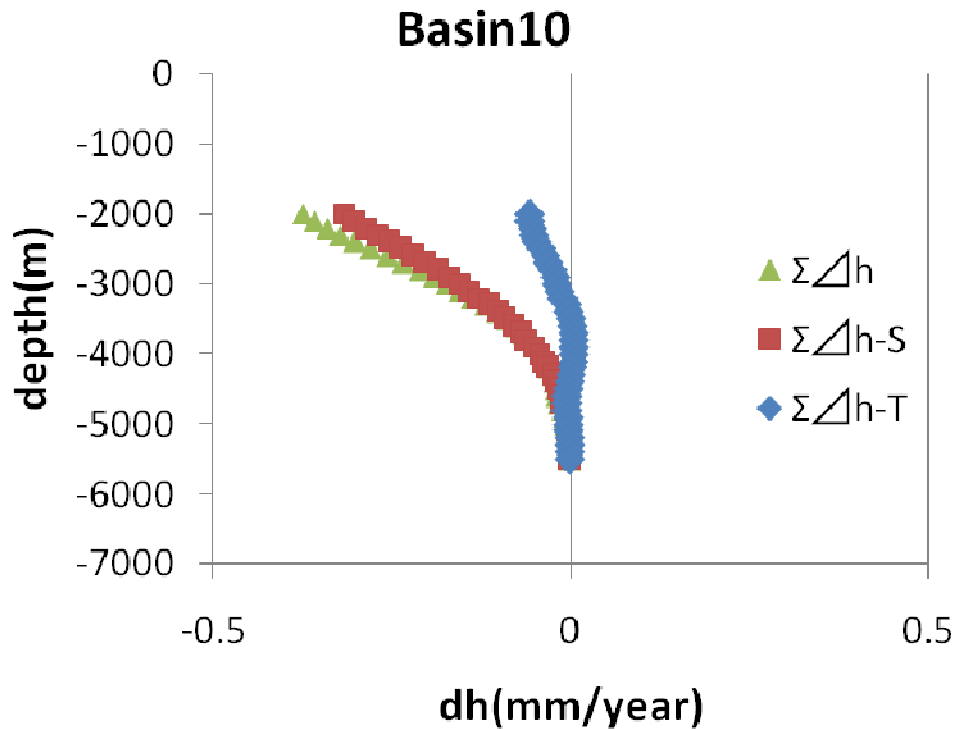
Fig.3-48 は中央太平洋海盆（海盆 8）における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度による  $\Sigma \Delta h_T$  は各深度でプラス（すなわち海面高度上昇）となっている。一方、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$  はほとんど 0 である。よって  $\Sigma \Delta h$  は  $\Sigma \Delta h_T$  の影響を受け、各深度でプラス（すなわち海面高度上昇）となっている。

(9) 北太平洋中央部



**Fig.3- 49** 北太平洋中央部（海盆 9）における  $\Delta h$  の積算  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

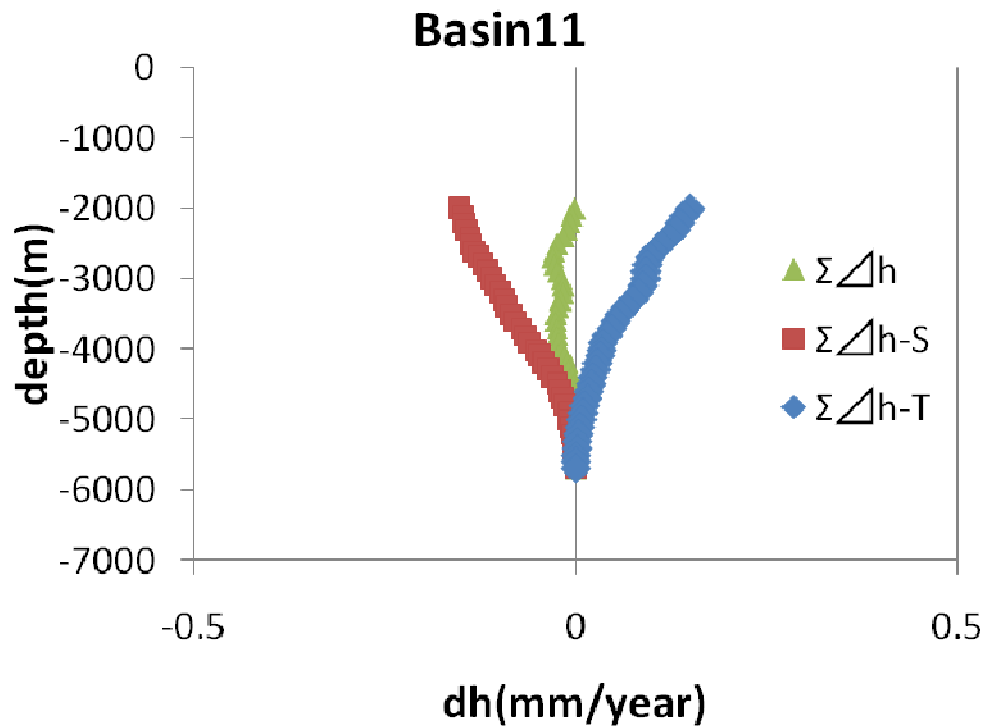
Fig.3-49 は北太平洋中央部（海盆 9）における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  は各深度でプラス（すなわち海面高度上昇）となっている。一方、塩分変化による  $\Sigma \Delta h_S$  は各深度でマイナス（すなわち海面高度下降）となっている。 $\Sigma \Delta h$  は温度変化によるものと塩分変化によるものでほぼ相殺され、0 に近い値となっている。



**Fig.3- 50** 北太平洋東部（海盆 10）における  $\Delta h$  の積算  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-50 は北太平洋東部（海盆 10）における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度による  $\Sigma \Delta h_T$  はほぼ 0 である。一方、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$  は全層でマイナス（すなわち海面高度下降）となっている。よって  $\Sigma \Delta h$  は  $\Sigma \Delta h_S$  の影響を受け、全層でマイナス（すなわち海面高度下降）となっている。

(1 1) 東太平洋海盆



**Fig.3- 51 東太平洋海盆（海盆 11）における  $\Delta h$  の積算**  
 横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
 その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-51 は東太平洋海盆（海盆 11）における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  はプラス（すなわち海面高度上昇）であり、一方、塩分変化による  $\Sigma \Delta h_S$  はマイナス（すなわち海面高度下降）となっている。よって  $\Sigma \Delta h$  は温度変化によるものと塩分変化によるもので相殺され、ほとんど 0 に近い値となっている。

(12) 東太平洋海盆東部

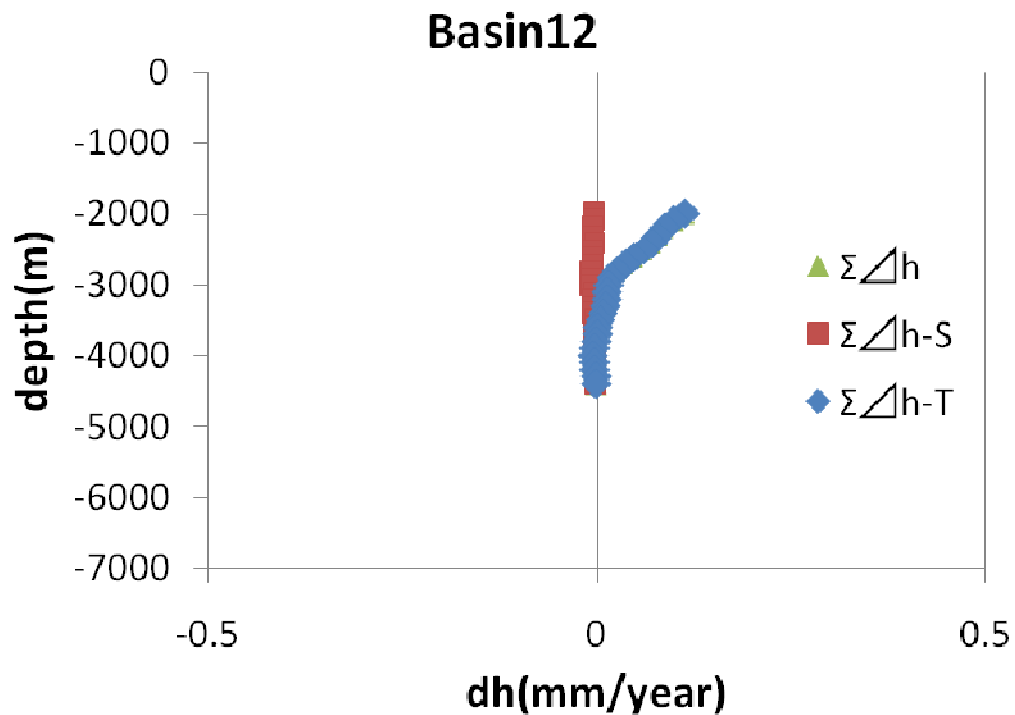
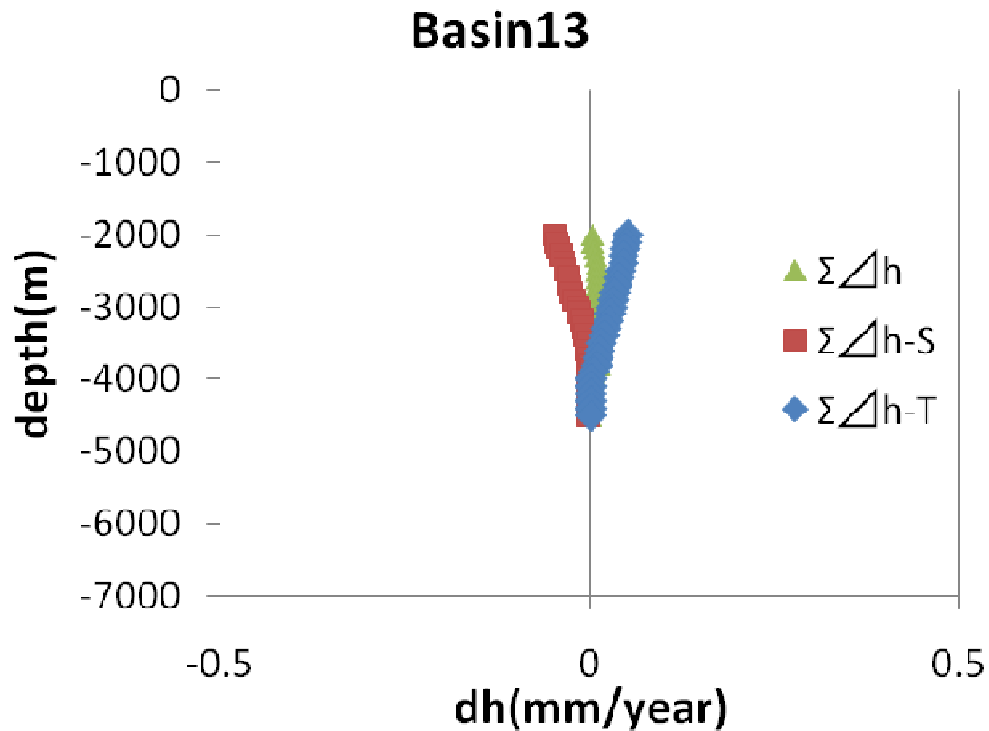


Fig.3- 52 東太平洋海盆東部（海盆 12）における  $\Delta h$  の積算  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-52 は東太平洋海盆東部（海盆 12）における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  は 3000 m 以深ではほぼ 0 であるが、3000 m 以浅ではプラス（すなわち海面高度上昇）となる。一方、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$  はほとんど 0 である。よって  $\Sigma \Delta h$  は温度変化の影響を受け、3000 m 以浅でプラス（すなわち海面高度上昇）となる。

(13) ベーリング海 (海盆 13)



**Fig.3- 53** ベーリング海 (海盆 13) における  $\Delta h$  の積算  
横軸に  $\Sigma \Delta h$  (mm/year)、縦軸に深さをとり、水温による  $\Sigma \Delta h_T$ 、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$ 、  
その和  $\Sigma \Delta h$  をプロットしたもの

Fig.3-53 はベーリング海 (海盆 13) における各層の  $\Sigma \Delta h$  である。温度変化による  $\Sigma \Delta h_T$  はややプラス (すなわち海面高度上昇) となる一方、塩分による  $\Sigma \Delta h_S$  はややマイナス (すなわち海面高度下降) となっている。よって  $\Sigma \Delta h$  は温度変化によるものと塩分変化によるものでほぼ相殺され 0 に近い値となっている。

以上の結果をまとめたものを Table3.8 に示す。Table3.8 は、2000 m 深での温度変化による海面高度上昇  $\Delta h_T$ 、塩分変化によるもの  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$  について、それぞれが 海面高度変化にどのように寄与しているかを示したものである。



Table3- 8 2000 m 深での温度変化による海面高度上昇  $\Delta h_T$ 、塩分変化によるもの  $\Delta h_S$ 、その和  $\Delta h$

Basin	$\Delta h-T$	$\Delta h-S$	$\Delta h$
フィリピン海盆(海盆1)	++	-	+
オーストラリア東部(海盆2)	+		+
東カロリン海盆(海盆3)	--	+++	++
北西太平洋海盆(海盆4)	+++	+++	+++
南西太平洋海盆(海盆5)	++	++	+++
ペルー沖(海盆6)	++	--	++
南西太平洋海盆東部(海盆7)	++	+	++
中央太平洋海盆(海盆8)	+++	-	+++
北太平洋中央部(海盆9)	++	--	+
北太平洋東部(海盆10)	--	----	----
東太平洋海盆(海盆11)	++	--	
東太平洋海盆東部(海盆12)	++	-	++
ベーリング海(海盆13)	++	-	+

ここで、0.200 mm/year 以上を+++、0.050 mm/year~0.200 mm/year を++、0.001 mm/year~0.050 mm/year を±0.001 mm/year~0.001 mm/year は変化なし、-0.001 mm/year~-0.050 mm/year を-、-0.050 mm/year~-0.200 mm/year を--、-0.200 mm/year 以下を---と表記した。

この表より明らかになるものとして、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）、南西太平洋海盆東部（海盆 7）は水温変化、塩分変化の両方の寄与により海面高度が上昇している。フィリピン海盆（海盆 1）、オーストラリア東部（海盆 2）、ペルー沖（海盆 6）、中央太平洋海盆（海盆 8）、北太平洋中央部（海盆 9）、東太平洋海盆東部（海盆 12）、ベーリング海（海盆 13）は温度による寄与が大きいため、海面高度が上昇している。海盆 3 は塩分による寄与が大きいため海面高度が上昇している。北太平洋東部（海盆 10）は水温変化、塩分変化の両方の寄与により海面高度が下降している。東太平洋海盆（海盆 11）は水温変化、塩分変化の寄与があるが、相殺して、見かけ上の海面高度変化はほとんどない、ということがわかった。

### 3-2 先行研究との比較

#### 3-2-1 Purkey & Johnson (2010) との比較

Purkey & Johnson (2010) の結果と本研究での計算結果について比較した。

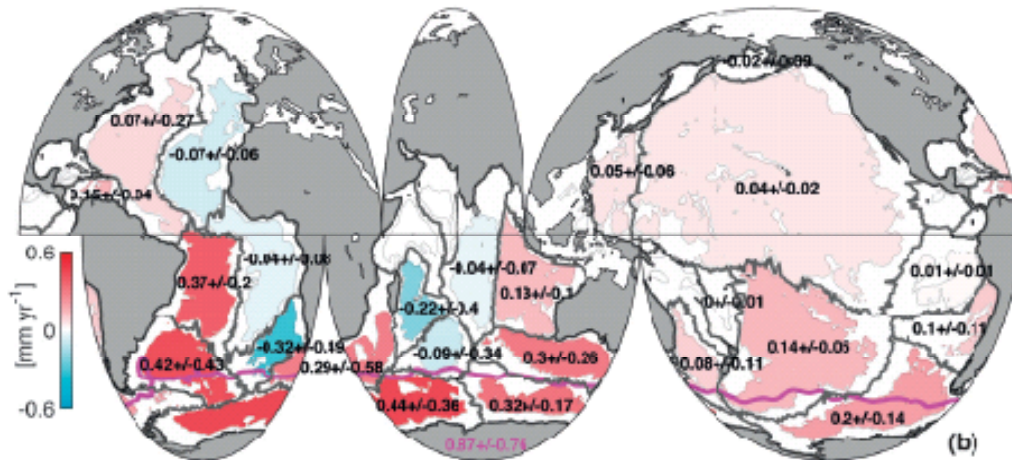


Fig.3- 54 Purkey & Johnson (2010)

温度変化による海面高度上昇  $\Delta h_T$  (mm/year) を全球において計算した結果

本研究では Purkey & Johnson (2010) による太平洋の区分を参考になっているが、全く同じではない。そこで、比較のため、Purkey & Johnson (2010) の区分 (Fig.3-54) に近い Fig.3-55 のように海盆区分を作成した。また、Purkey & Johnson (2010) では熱膨張、即ち本研究における温度変化による海面高度変化のみを考えた論文である。そこで、Purkey & Johnson (2010) にならい、4000 m 以深で、温度変化の影響のみを考慮して計算した結果が Fig.3-56 である。

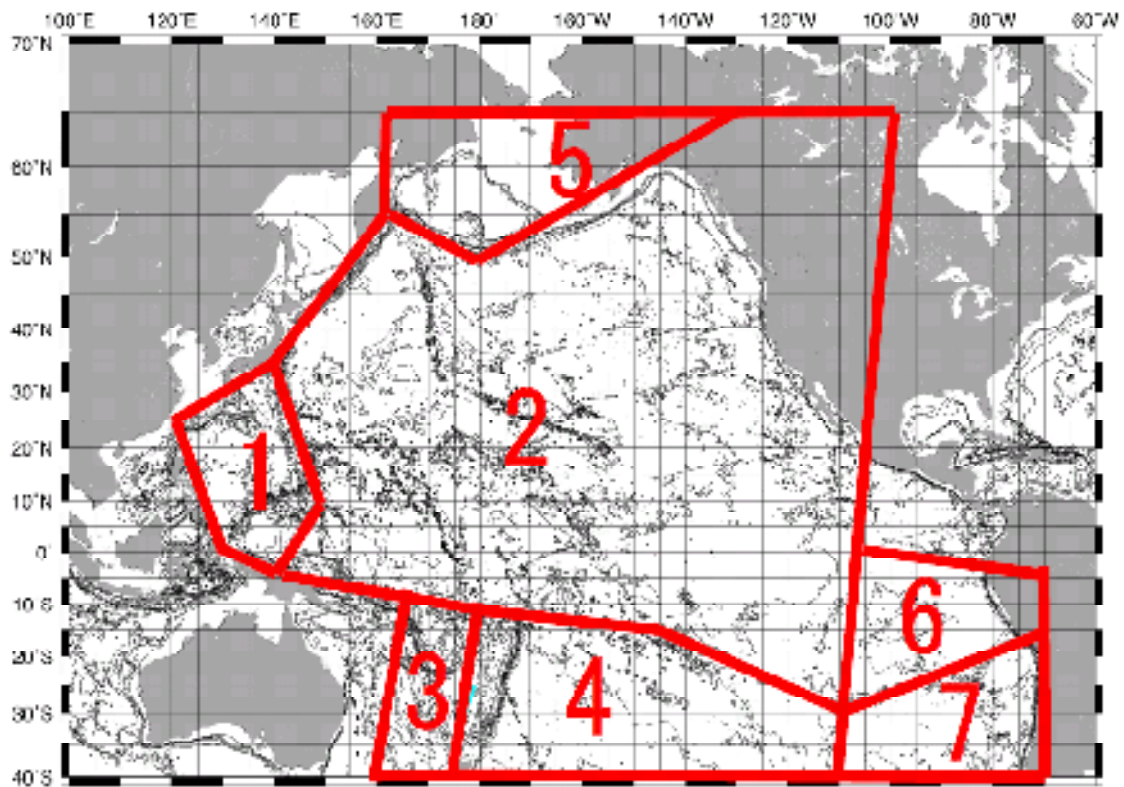


Fig.3- 55 比較のための区分

熱膨張による海面高度上昇  $\Delta h_T$  (mm/year) を計算した結果、Fig.3-56 のようになった。

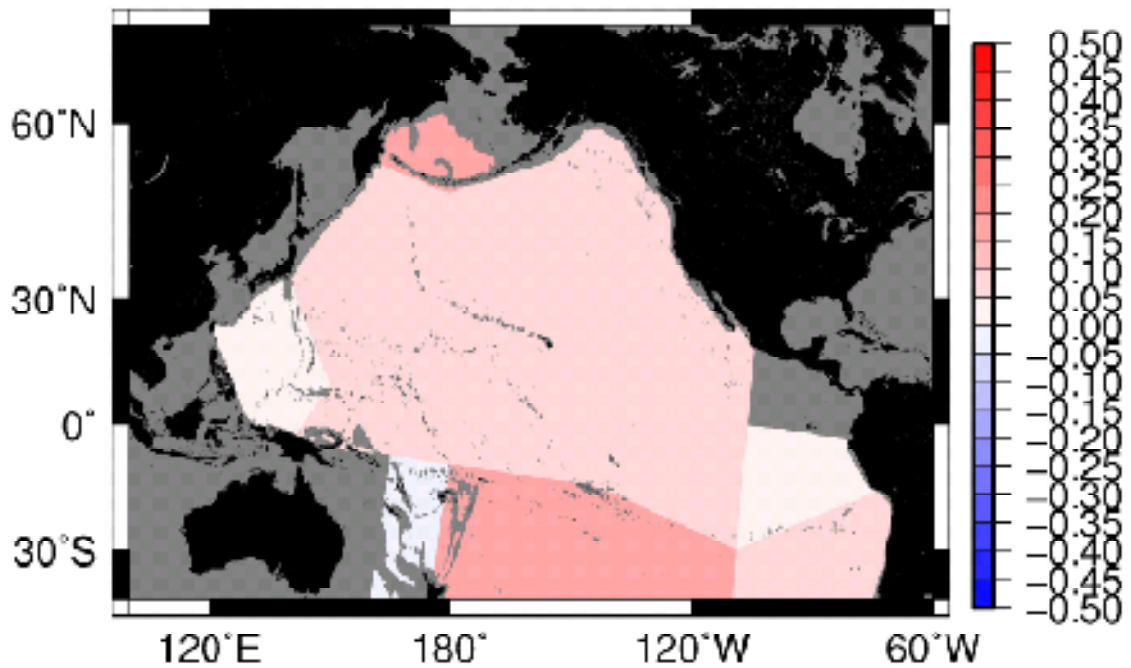


Fig.3- 56 本研究プログラムによる温度による海面高度変化  $\Delta h_T$  (mm/year)

本研究及び Purkey & Johnson (2010) の計算結果の値を比較したのが Table3-9 である。

Table3- 9 本研究及び Purkey & Johnson (2010) の計算結果比較表

Basin	My calculation (mm/year)	Purkey & Johnson(2010) (mm/year)
1	1.59E-02	3.00E-02
2	5.98E-02	3.00E-02
3	-1.20E-02	0.00E+00
4	1.53E-01	1.40E-01
5	1.93E-01	1.00E-02
6	1.15E-02	1.00E-02
7	8.41E-02	7.00E-02

Table3-9 の結果を棒グラフとして表したのが、Fig.3-57 である。

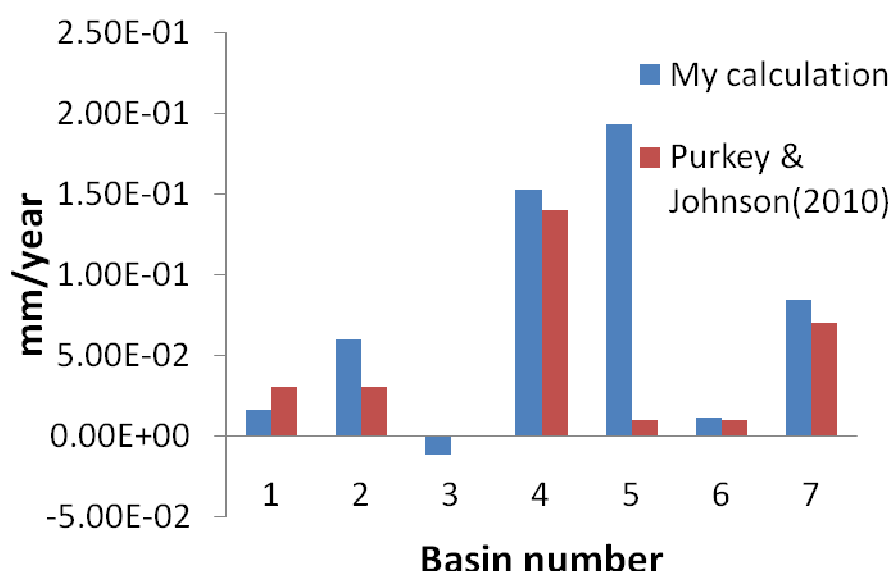


Fig.3- 57 本研究及び Purkey & Johnson (2010) の計算結果比較の棒グラフ  
縦軸に温度による海面高度上昇  $\Delta h_T$  (mm/year)、横軸に海盆番号をとっている

比較の結果、海盆 5 (ベーリング海付近) を除き、おおむね結果は一致した。

### 3-2-2 矩形メッシュで切っている先行研究との比較

先行研究において、Kouketsu et al., (2011) は、太平洋、インド洋、大西洋を観測線による矩形のボックスにわけ、各層における貯熱量・塩分変化を見積もり、海面上昇への寄与を見積もっている。このように、矩形メッシュで切った先行研究との比較を行いたかったのだが、先行研究では観測線ごとに矩形に切っているため、今回の本研究での計算方法だと各点の内外判定が行えず、計算を行うことができない。

そこで、試みに、現在のデータから単純に矩形に区分し、水平分布図にしてみた。  
検証は 3 パターン (4×4、5×5、6×6) で太平洋を 16 個、25 個、36 個に切って行った。

4×4 で切った区分の図を Fig.3-58 に示す。

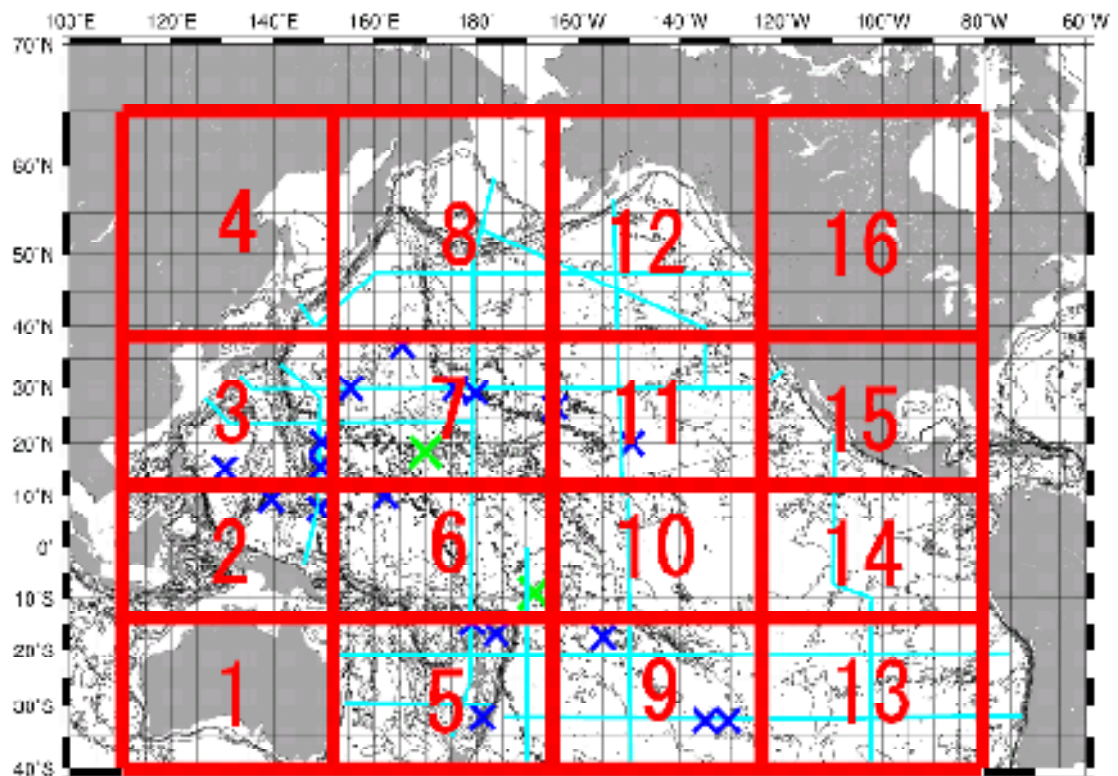


Fig.3- 58 矩形メッシュ 4×4



5×5 で切った区分の図を Fig.3-59 に示す。

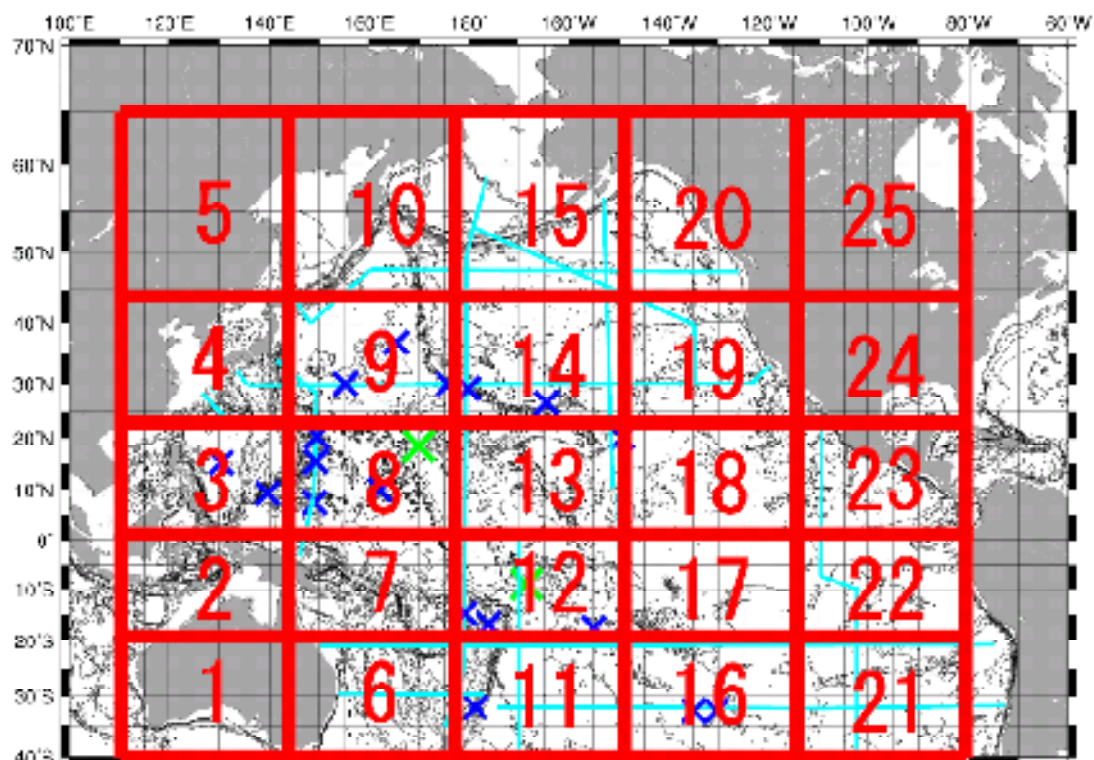


Fig.3- 59 矩形メッシュ 5×5

6×6 で切った区分の図を Fig.3-60 に示す。

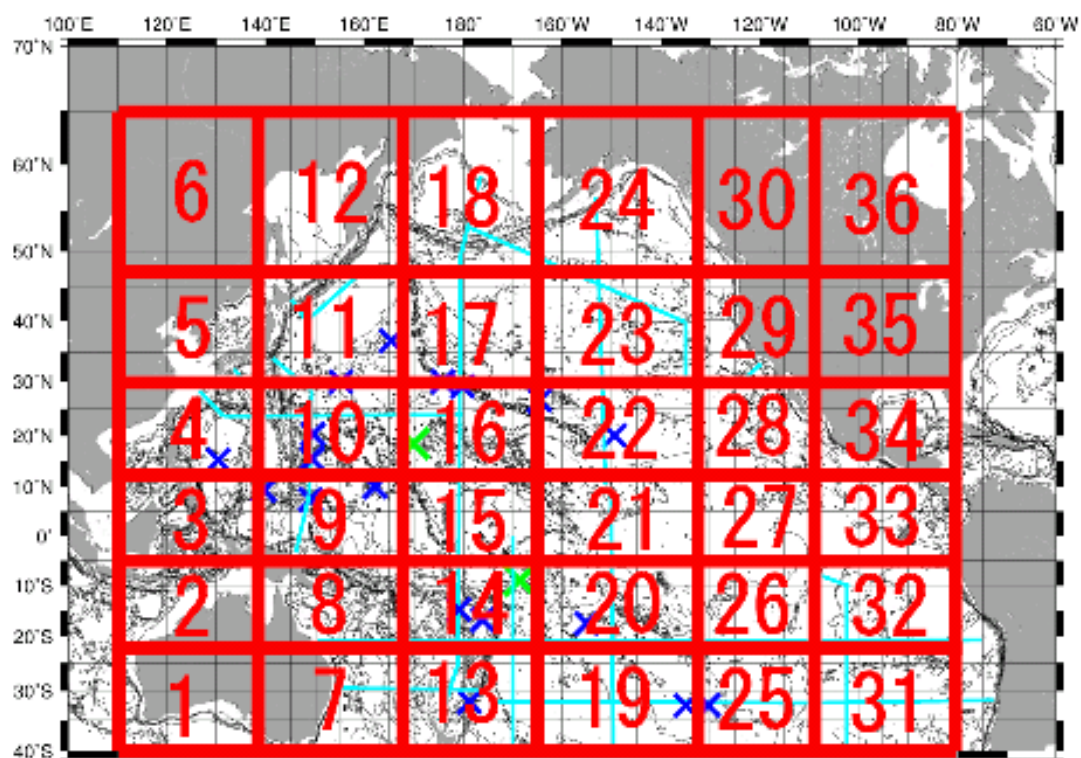


Fig.3- 60 矩形メッシュ 6×6

続いて、矩形メッシュでの計算結果を示していく。

(1) 16 区分の結果

4×4 で計算した結果を Table3-10 に示す。

Table3- 10 16 区分での海面高度上昇 (mm/year)

Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2	-3.24E-01	3.73E-01	4.90E-02
3	-9.60E-03	-1.01E-01	-1.10E-01
4	5.64E-03	-2.08E-01	-2.02E-01
5	1.58E-01	1.23E-01	2.81E-01
6	3.28E-01	3.56E-02	3.64E-01
7	1.59E-01	8.21E-02	2.41E-01
8	2.14E-01	-1.62E-01	5.23E-02
9	-2.48E-02	5.99E-03	-1.89E-02
10	1.08E-01	-3.23E-01	-2.15E-01
11	1.29E-01	-2.73E-01	-1.44E-01
12	-1.21E-01	-3.45E-01	-4.66E-01
13	6.74E-02	-4.41E-03	6.30E-02
14	8.46E-02	-4.52E-02	3.93E-02
15	1.24E-01	5.09E-02	1.75E-01
16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

次に、温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、及びその和  $\Delta h$  を計算した結果を水平分布図で以下に示す。

2000 m 深における温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を MAP 化したものが Fig.3-61 である。

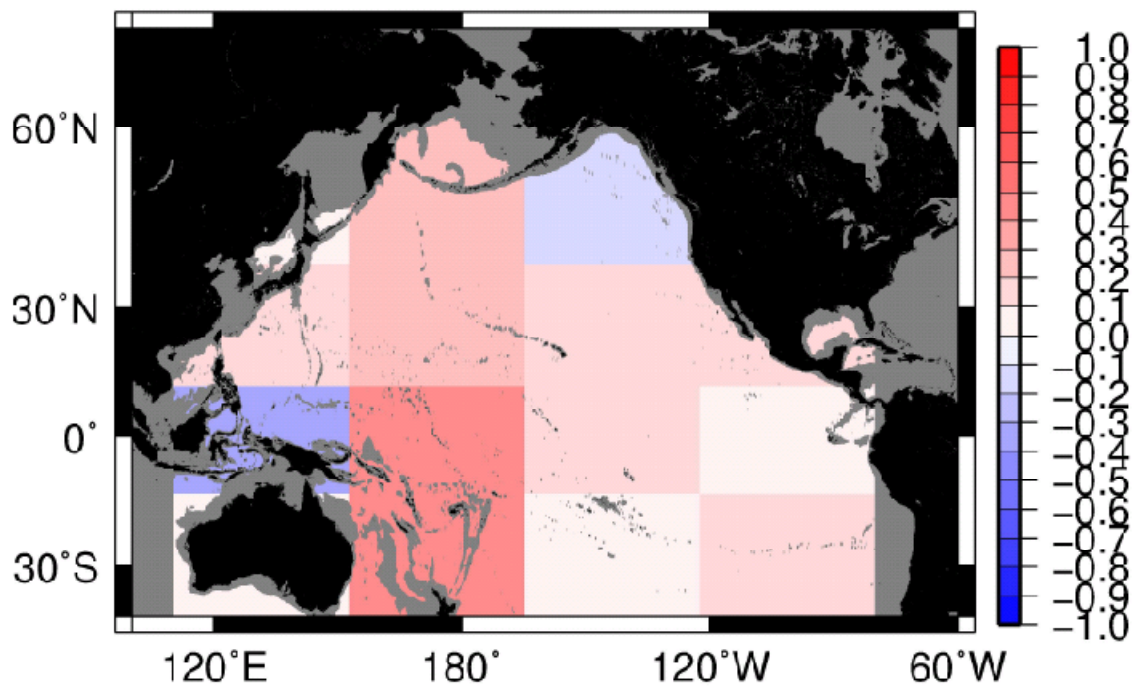


Fig.3- 61  $\Delta h_T$

2000 m 深における 16 区分での温度変化による海面高度変化

2000 m 深における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  を MAP 化したのが Fig.3-62 である。

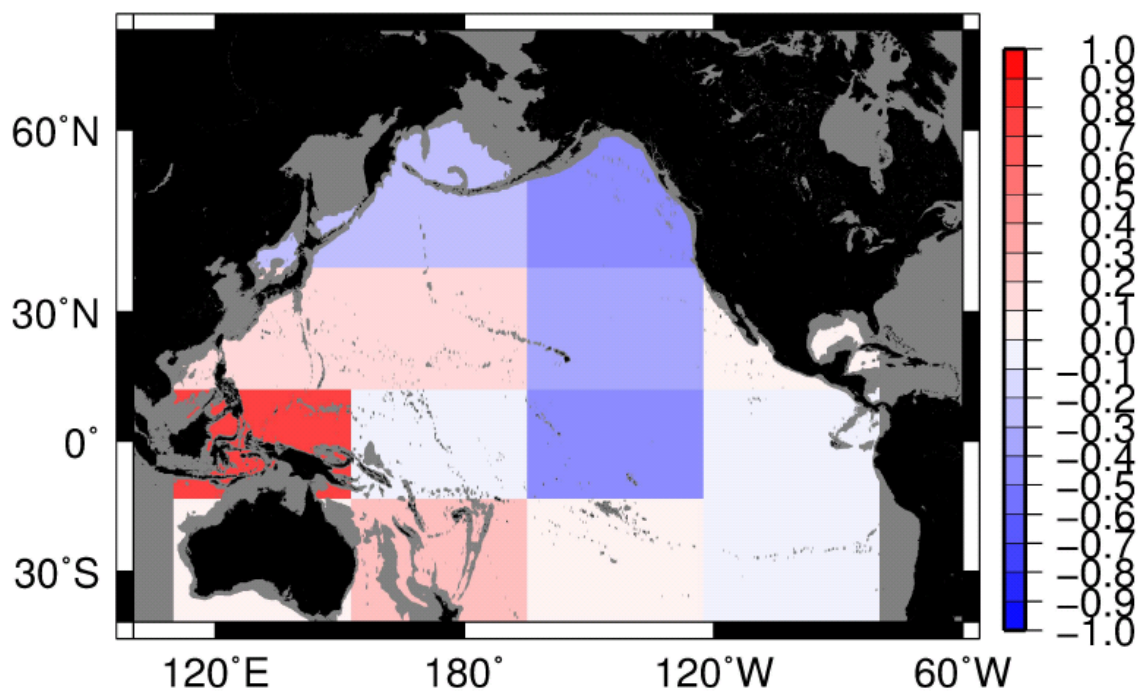


Fig.3- 62  $\Delta h_S$  (mm/year)

2000 m 深における 16 区分での塩分変化による海面高度変化



2000 m 深における  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-63 である。

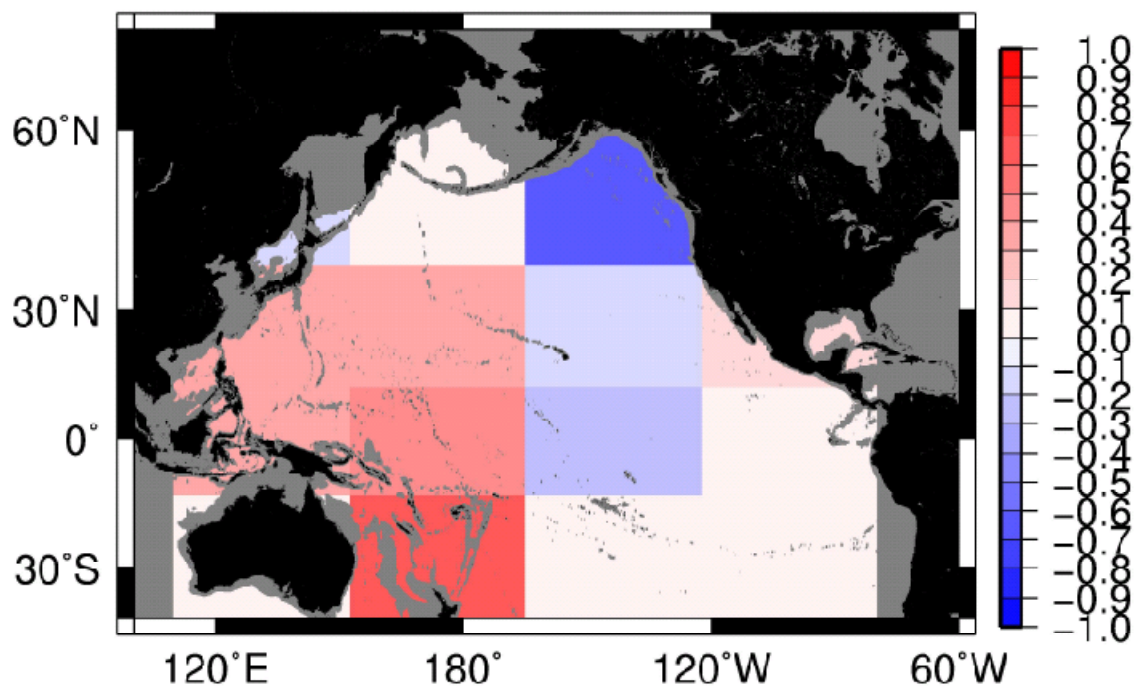


Fig.3- 63  $\Delta h$  (mm/year)  
3000 m 深における 16 区分での海面高度変化

(2) 25 区分の結果

5×5 で計算した結果を Table3-11 に示す。

Table3- 11 25 区分での海面高度上昇 (mm/year)

Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3	1.67E-01	6.30E-02	2.30E-01
4	1.58E-01	-1.24E-01	3.42E-02
5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
6	4.61E-02	2.59E-02	7.19E-02
7	-3.63E-01	8.57E-02	-2.77E-01
8	-1.60E-03	4.29E-01	4.27E-01
9	1.76E-01	2.50E-01	4.26E-01
10	1.40E-01	-1.61E-01	-2.03E-02
11	2.02E-01	2.16E-01	4.18E-01
12	2.56E-01	-4.29E-02	2.13E-01
13	1.88E-01	-1.91E-01	-2.99E-03
14	1.42E-01	-1.45E-01	-2.62E-03
15	3.26E-02	-2.81E-01	-2.48E-01
16	-3.72E-01	-6.89E-02	-4.41E-01
17	-6.06E-02	-1.33E-01	-1.94E-01
18	6.46E-02	-1.35E-01	-7.09E-02
19	1.19E-01	-2.42E-01	-1.24E-01
20	-1.51E-01	-3.41E-01	-4.92E-01
21	1.07E-01	2.63E-03	1.10E-01
22	1.40E-01	-9.66E-03	1.30E-01
23	1.23E-02	2.43E-02	3.65E-02
24	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
25	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

2000 m 深における温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を MAP 化したものが Fig.3-61 である。

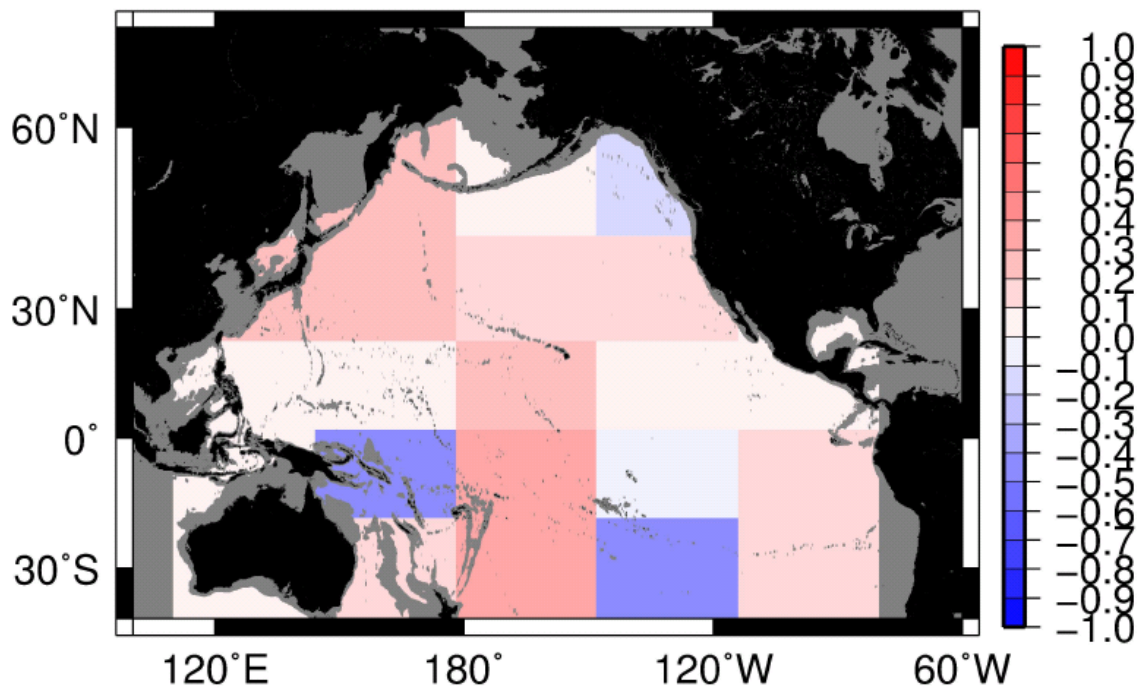


Fig.3- 64  $\Delta h_T$  (mm/year)

2000 m 深における 25 区分での温度変化による海面高度変化

2000 m 深における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  を MAP 化したのが Fig.3-65 である。

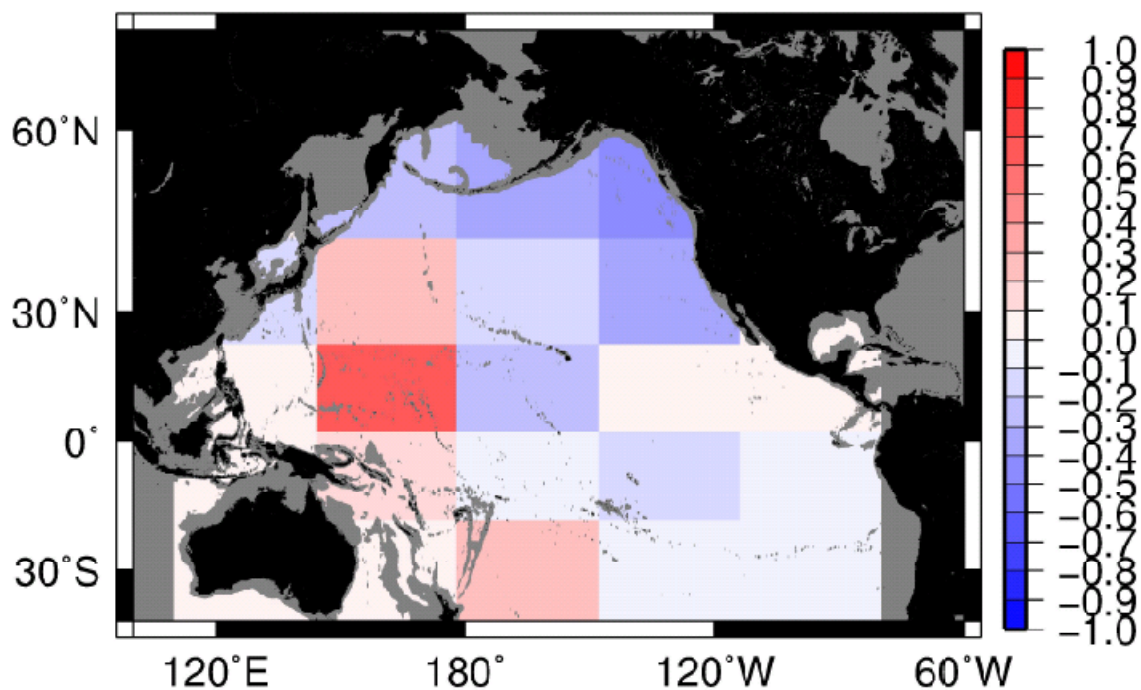


Fig.3- 65  $\Delta h_S$  (mm/year)

2000 m 深における 25 区分での塩分変化による海面高度変化

2000 m 深における  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-66 である。

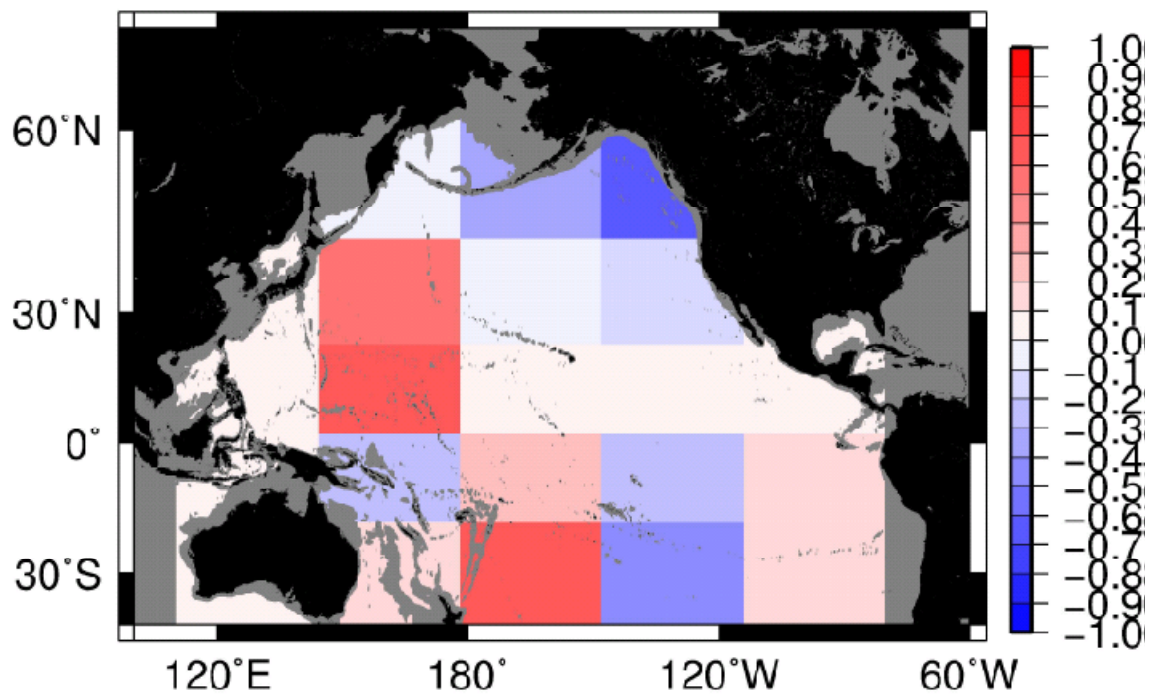


Fig.3- 66  $\Delta h$  (mm/year)  
2000 m 深における 25 区分での海面高度変化

(3) 36 区分の結果

6×6 で計算した結果を Table3-12 に示す。

Table3- 12 36 区分での海面高度上昇 (mm/year)

Basin	$\Delta h-T(\text{mm/year})$	$\Delta h-S(\text{mm/year})$	$\Delta h(\text{mm/year})$
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3	-1.65E-02	1.36E-01	1.20E-01
4	2.93E-01	-8.25E-02	2.10E-01
5	2.24E-01	-7.13E-01	-4.90E-01
6	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
7	6.22E-01	1.96E-01	8.18E-01
8	-1.00E-02	-9.86E-03	-1.99E-02
9	-3.25E-01	3.54E-01	2.90E-02
10	1.59E-01	2.92E-01	4.51E-01
11	3.49E-02	-1.69E-01	-1.34E-01
12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
13	8.12E-02	1.61E-01	2.42E-01
14	2.44E-01	6.23E-02	3.07E-01
15	4.24E-01	2.09E-02	4.44E-01
16	9.87E-02	1.03E-02	1.09E-01
17	2.13E-01	-1.23E-01	9.01E-02
18	3.91E-01	1.28E-02	4.04E-01
19	3.36E-02	1.41E-01	1.74E-01
20	2.77E-02	-1.26E-01	-9.84E-02
21	1.38E-01	-3.70E-01	-2.32E-01
22	1.39E-01	-2.37E-01	-9.73E-02
23	-1.12E-02	-3.29E-01	-3.40E-01
24	-3.31E-01	-5.45E-01	-8.76E-01
25	4.91E-02	2.40E-02	7.32E-02
26	-9.51E-03	-8.56E-02	-9.51E-02
27	9.18E-02	-1.77E-01	-8.47E-02
28	1.47E-01	-7.43E-02	7.29E-02
29	6.71E-02	-3.12E-01	-2.45E-01
30	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
31	1.23E-01	1.69E-02	1.40E-01
32	1.03E-01	-2.84E-02	7.50E-02
33	8.70E-02	-3.11E-02	5.59E-02
34	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
35	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
36	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

2000 m 深における温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$  を MAP 化したものが Fig.3-67 である。

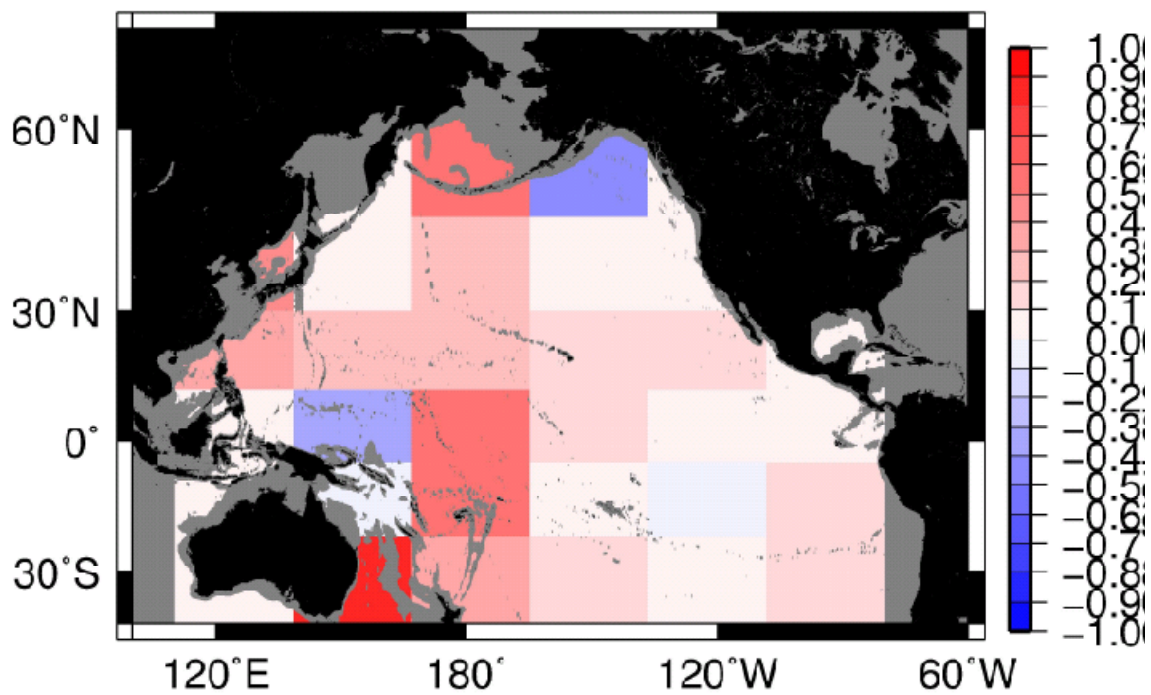


Fig.3- 67  $\Delta h_T$  (mm/year)

2000 m 深における 36 区分での温度変化による海面高度変化

2000 m 深における塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$  を MAP 化したのが Fig.3-68 である。

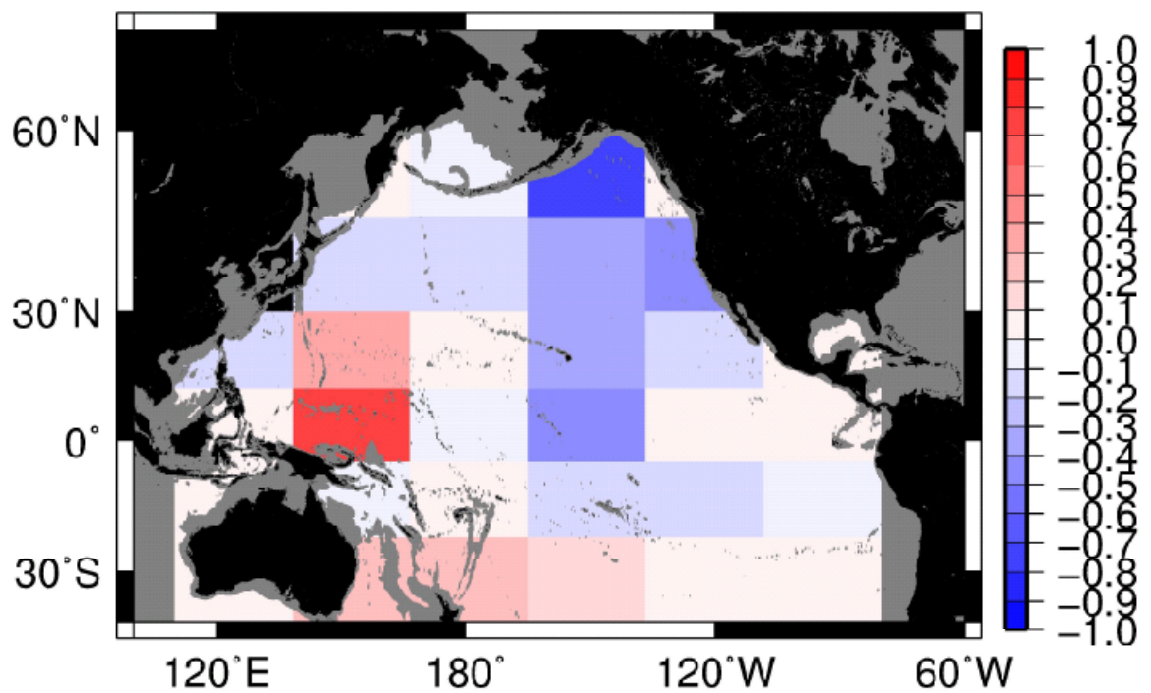
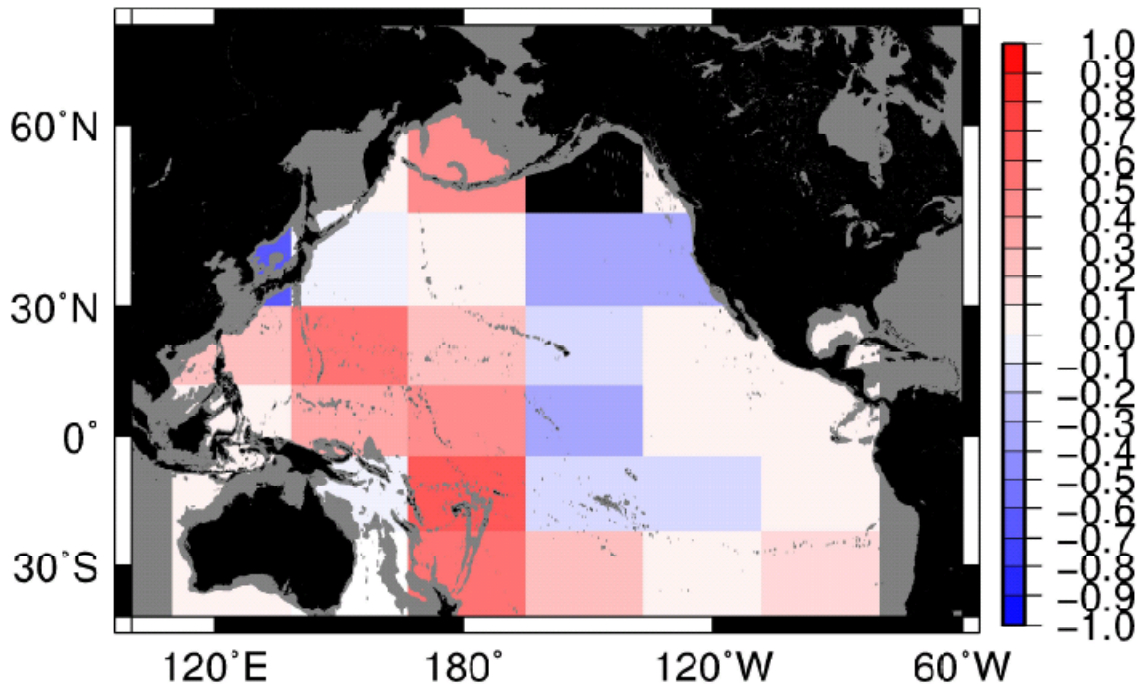


Fig.3- 68  $\Delta h_S$  (mm/year)

2000 m 深における 36 区分での塩分変化による海面高度変化



2000 m 深における  $\Delta h$  を MAP 化したのが Fig.3-69 である。



**Fig.3- 69  $\Delta h$  (mm/year)**  
**2000 m 深における 36 区分での海面高度変化**

以上の結果から言えることとして、いずれの区分においても、北東部では海面高度変化は下降し、南西部では上昇しているのではないかと、斜めの構造があるというパターンはみてとれる。

しかし、区分数を変えると、パターンがそれぞれ変わり、クリアには見えず。解釈は容易ではない。これは、細かければ細かいほど計測誤差を拾ってしまっているためと考えられる。この点については、先行研究の矩形メッシュでも同じである。しかし、海面高度変化は北東部が下降、南西部が上昇という大きな構造は本研究での計算結果と似ており、また、Kouketsu et al., (2011) による海面高度変化と本研究の結果は、オーダーとしては合致していた。

### 3-3 太平洋深層の熱塩循環との関連

#### 3-3-1 熱塩循環について

海洋に存在する二つの大規模な海洋の流れについて説明する。海洋の流れのうち一つは、海上を吹く風の力によって生じる「風成循環」であり、海洋面から最大で千数百 m 程度までの深さで起こっている（河野、2010）。たとえば北太平洋には、低緯度の貿易風帯と中緯度の偏西風帯に挟まれた亜熱帯循環と呼ばれる時計方向に回る循環と、偏西風帯より北側の亜寒帯循環と呼ばれる反時計回りの流れが存在する。日本近海を流れる黒潮や親潮などは、この北太平洋の風成循環にあたる。

一方、「熱塩循環」と呼ばれる、温度差と塩分濃度の差によって地球規模で動く循環が存在し、さらに深い領域、即ち海洋深層にまで達している。高緯度域にある海表面付近の水は大气によって冷やされることで密度が増加して沈降する。熱塩循環とは、この表層水が深層まで沈降し、それまで深層にあった海水を押し分けながら全海洋の深層を巡っていくものである（河野、2010）。

具体的には、北大西洋のグリーンランド沖などで沈降した深層水が大西洋を南極付近まで南下しながら南極大陸の周りを流れる海流と合流する。そして再び冷却され深層水となって大西洋、インド洋と太平洋に流れ込む。この深層の流れは、北上し、地熱や上層の海水との混合によって軽くなり、海洋の中層・表層を通過して南極海に戻っていく。

Fig3-70 は熱塩循環の模式図である。北大西洋で沈み込み、上層を北上してくる循環を大西洋オーバーターン、南極周辺で沈み込み最深部を北上して深層を南下して戻る循環（太平洋、大西洋、インド洋に存在する）を南極オーバーターンと言う。赤道付近の海面水温は 30 °C 近くになるが、両極付近で冷やされた海水が常に深層に供給されるため、海底付近の水温は約 1 °C となる（河野、2010）。



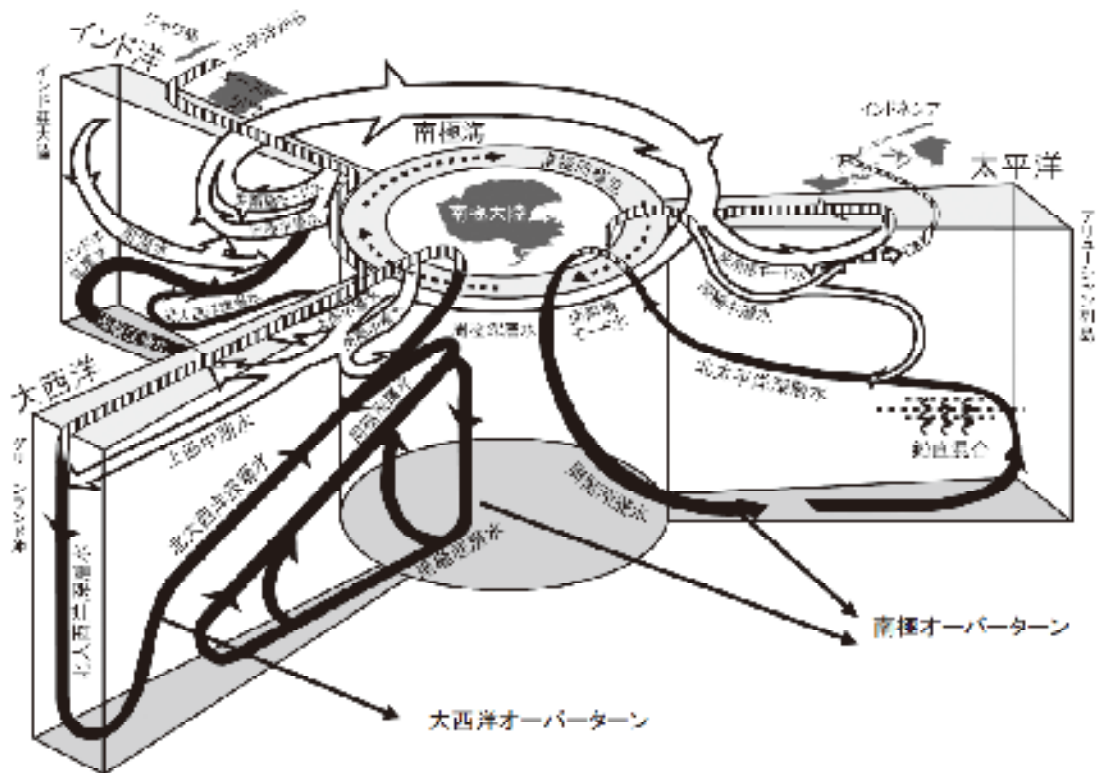


Fig.3- 70 熱塩循環の模式図（河野、2010）

そして今は、地球規模の現象である熱塩循環に変化の兆しが見つかっているという状況である。熱塩循環が変化すれば、それは長いスケールでの地表の平均気温に影響をあたえ、研究課題となっている。

実際の海では、北太平洋底層の海水が昇温していることが観測されている。(Fukasawa et al., 2004)

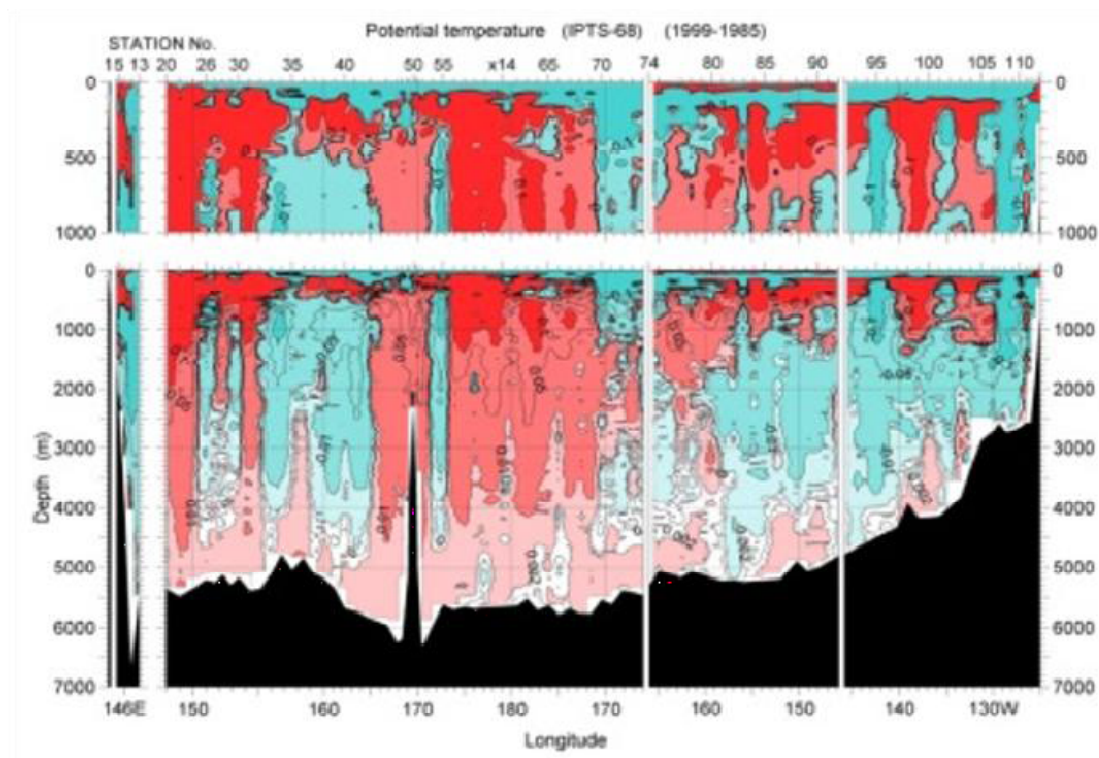


Fig.3-71 北緯 47 度の水温の観測結果。

左側が日本、右側がアメリカ大陸。1999 年に観測された水温から 1985 年に観測された水温を引いた水温差のコンターとなっており、赤い部分が水温が有意に上昇している所、青い部分が有意に下降している所で、白い部分は誤差範囲を示している。1985 年に比べて底層で 5/1000 °C の有意な昇温が見られる (Fukasawa et al, 2004)

### 3-3-2 深層水の経路

貯熱量の変化は、太平洋では、北向きの周極深層水 (Circumpolar Deep Water : CDW) の量が減少したためであると考えられている (Fukasawa et al., 2004)。Kawano et al., (2010) によると、4000 m 以深では貯熱量は太平洋全域で増加しているとしており、それは深層水の経路に沿って顕著にみられるとしている。

Fukasawa et al ., (2004) によると、CDW の経路は Fig.3-72 のようになっている。

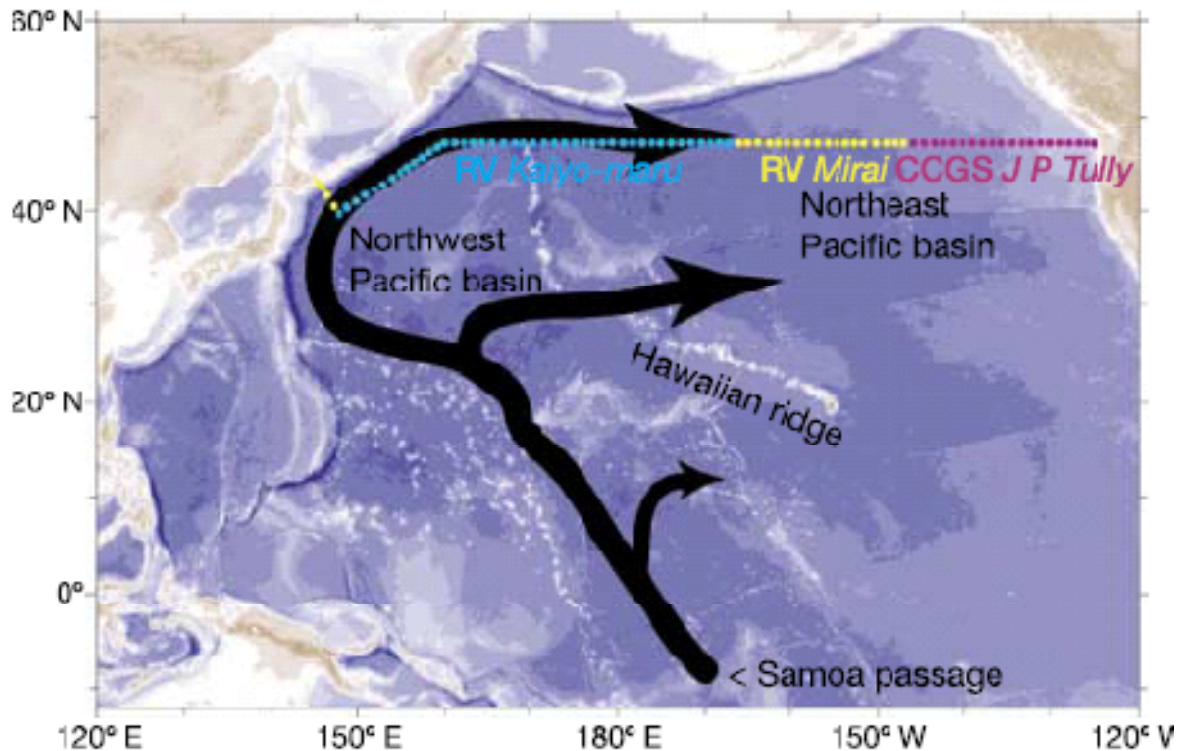


Fig.3-72 北太平洋における深層水の経路 (Fukasawa et al., 2004)

Fig.3-72 を見ると、深層水の経路は、本研究の海盆に照らし合わせて考えると、南西太平洋海盆（海盆 5）→中央太平洋海盆（海盆 8）→北西太平洋海盆（海盆 4）→北太平洋中央部（海盆 9）となっているといえることができる。

南西太平洋海盆（海盆 5）における各層の  $\Delta h$  の図 Fig.3-29 を見ると、 $\Delta h_T$  および  $\Delta h$  の極大点が -4200m 付近にある。次に、中央太平洋海盆（海盆 8）における各層の  $\Delta h$  の図 Fig.3-30 を見ると、 $\Delta h_T$  および  $\Delta h$  の極大点が -4000 m 付近にある。次に、北西太平洋海盆（海盆 4）における各層の  $\Delta h$  の図 Fig.3-28 を見ると、 $\Delta h_T$ 、 $\Delta h_S$  および  $\Delta h$  の極大点が -5500m 付近にある。またこの海盆では 3000 m 以浅の地域では海面高度変化の上昇が大きくなっている。次に、北太平洋中央部（海盆 9）における各層の  $\Delta h$  の図 Fig.3-33 を見ると、 $\Delta h_T$ 、 $\Delta h_S$  および  $\Delta h$  の値はどれも小さく、海面高度変化の小さい地域といえる。この傾向は、過去の知見、即ち CDW の流れている深さは、3000 m 以深で、北上するに従って深くなるという知見とつじつまがあう (Kawano et al, 2010)。即ち、海面高度上昇は、塩分変化の影響を考慮した上でも、CDW の経路に沿って大きく変化している。

また、海面高度変化に対する CDW の影響は北太平洋中央部（海盆 9）まではほとんど届いていないということもわかった。

全体として、温度による海面高度変化  $\Delta h_T$  は上昇に寄与している部分が多く、塩分による海面高度変化  $\Delta h_S$  は特に北東太平洋において下降に寄与している地域が多かった。それらの和  $\Delta h$  を見ると、南西部では上昇、北東部では下降といった大きな構造が見られた。

温度、塩分ともに上昇に寄与している北西太平洋海盆（海盆 4）では非常に大きな上昇をみせる。「海面高度上昇が LCDW の流れに影響されている」という観点だけでは、南西太平洋海盆（海盆 5）、中央太平洋海盆（海盆 8）よりも北西太平洋海盆（海盆 4）の方が上昇が大きくなってしまふことの説明がつかない。Fig.3-28 をみると、北西太平洋海盆（海盆 4）は南西太平洋海盆（海盆 5）、中央太平洋海盆（海盆 8）とパターンが異なり、-5500m 付近に極大点があるのに加え、-3000 m 以浅で海面高度変化の上昇への寄与が大きくなっていることが、その原因と考えられるが、本研究ではその理由は解明できなかった。

逆に、温度、塩分ともに下降に寄与している北太平洋東部（海盆 10）では大きな下降を示す。したがって、海面高度変化を議論する際には、温度だけでなく、塩分による変化の寄与も考慮する必要があることがあらためてわかった。

## 4 章 TEOS-10 と EOS-80 の比較

### 4-1 新しい状態方程式について

2009 年 6 月の Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) で海水の状態方程式 (Practical Salinity Scale 1978 and International Equation of State Seawater 1980 : PSS-78 and EOS-80) に代わる新しい海水の状態方程式 (Thermodynamic Equation of Seawater 2010 : TEOS-10) の採用が承認された。EOS-80 は実用塩分スケール (PSS-78) で定義される実用塩分を用いていたが、TEOS-10 では、実用塩分ではなく、絶対塩分が用いられている。また状態方程式も従来の経験式からギブス関数によって表される形となっている (河野, 2010 ; Millero et al., 2008 ; McDougall et al., 2009)。

本研究では、TEOS-10 で計算したが、先行研究では EOS-80 が使われている。そこで、状態方程式として TEOS-10 を使う場合と EOS-80 で使う場合でどの程度の差があるかを調べた。TEOS-10 の計算ツールは WEB 上 (<http://www.teos-10.org/software.htm>) で公開されており、それを利用した。

### 4-2 海面高度変化

状態方程式 TEOS-10 および EOS-80 を用いて、2000 m 以深における、温度変化による海面高度変化  $\Delta h_T$ 、塩分変化による海面高度変化  $\Delta h_S$ 、およびその和  $\Delta h$  を計算した結果を Table4-1 及び Fig.4-1 に示す。一見して明らかな差異はないことがわかる。

**Table4- 1 TEOS-10 および EOS-80 で計算した各海盆の 2000 m 深における海面水位変化。**  $\Delta h_T$  は温度変化による海面水位変化、 $\Delta h_S$  は塩分変化による海面水位変化、 $\Delta h$  はそれらの和を示す。単位は mm/year。

Basin	TEOS-10			EOS-80		
	$\Delta h-T$	$\Delta h-S$	$\Delta h$	$\Delta h-T$	$\Delta h-S$	$\Delta h$
	(mm/year)	(mm/year)	(mm/year)	(mm/year)	(mm/year)	(mm/year)
フィリピン海盆 (海盆1)	0.068	-0.036	0.032	0.054	-0.036	0.018
オーストラリア東部 (海盆2)	0.026	0.004	0.030	0.021	0.004	0.026
東カロリン海盆 (海盆3)	-0.118	0.208	0.090	-0.083	0.209	0.126
北西太平洋海盆 (海盆4)	0.263	0.205	0.468	0.205	0.206	0.411
南西太平洋海盆 (海盆5)	0.138	0.119	0.256	0.117	0.119	0.236
ペルー沖 (海盆6)	0.148	-0.009	0.139	0.110	-0.009	0.101
南西太平洋海盆東部 (海盆7)	0.155	0.018	0.173	0.116	0.018	0.134
中央太平洋海盆 (海盆8)	0.282	-0.025	0.257	0.225	-0.025	0.200
北太平洋中央部 (海盆9)	0.161	-0.138	0.023	0.127	-0.139	-0.011
北太平洋東部 (海盆10)	-0.058	-0.316	-0.374	-0.043	-0.317	-0.360
東太平洋海盆 (海盆11)	0.150	-0.151	-0.001	0.117	-0.152	-0.035
東太平洋海盆東部 (海盆12)	0.114	-0.002	0.111	0.084	-0.002	0.081
ベーリング海 (海盆13)	0.051	-0.047	0.004	0.039	-0.047	-0.008



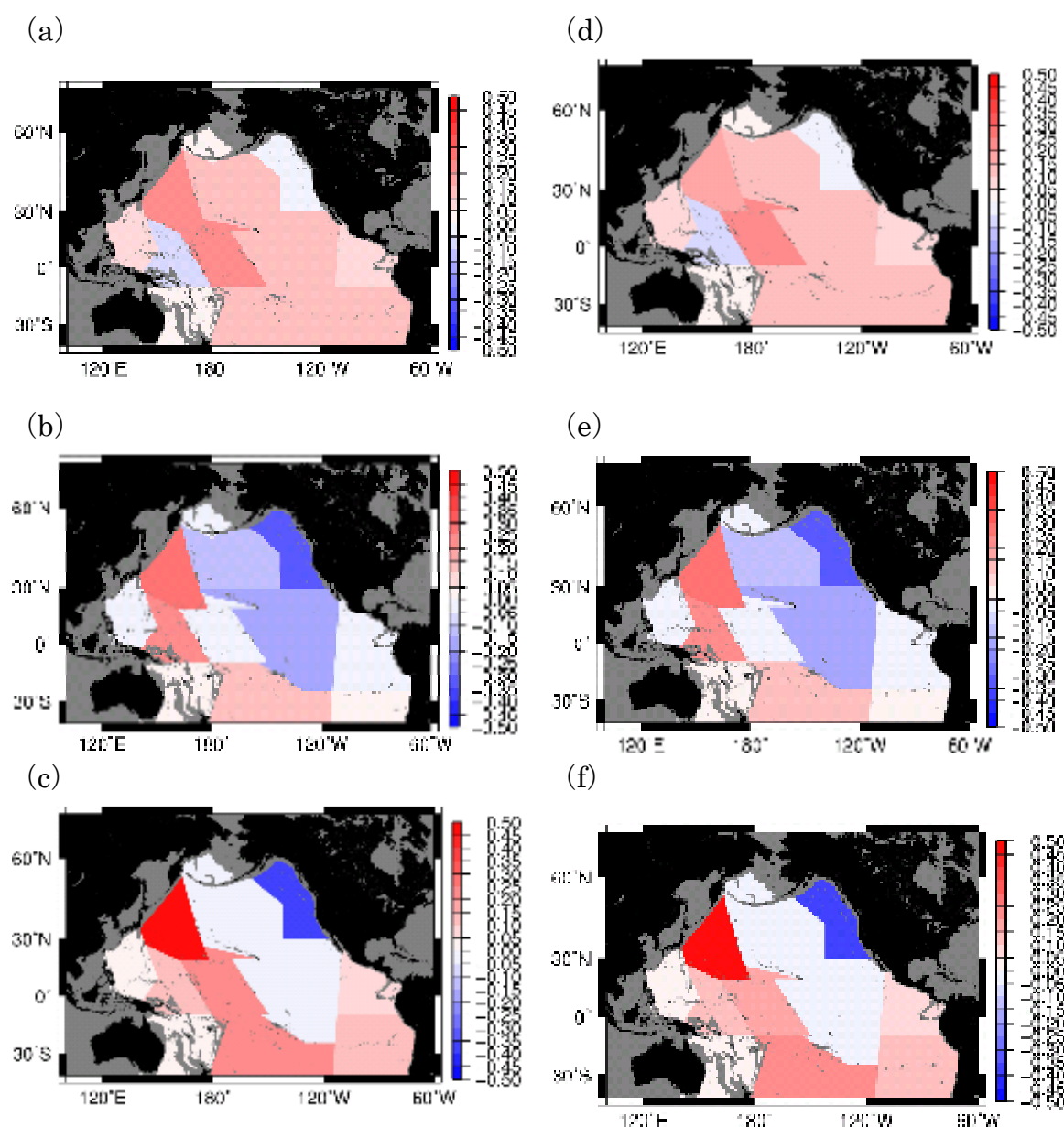


Fig.4-1 2000 m 深における海面高度変化。赤が上昇、青が下降を示す。

TEOS-10 によって計算した (a) 水温変化による海面高度変化 ( $\Delta h_T$ )、

(b) 塩分変化による海面高度変化 ( $\Delta h_S$ )、

(c) 両者の和 ( $\Delta h$ )

及び、EOS-80 によって計算した (d) 水温変化による海面水位変化 ( $\Delta h_T$ )、

(e) 塩分変化による海面水位変化 ( $\Delta h_S$ )、

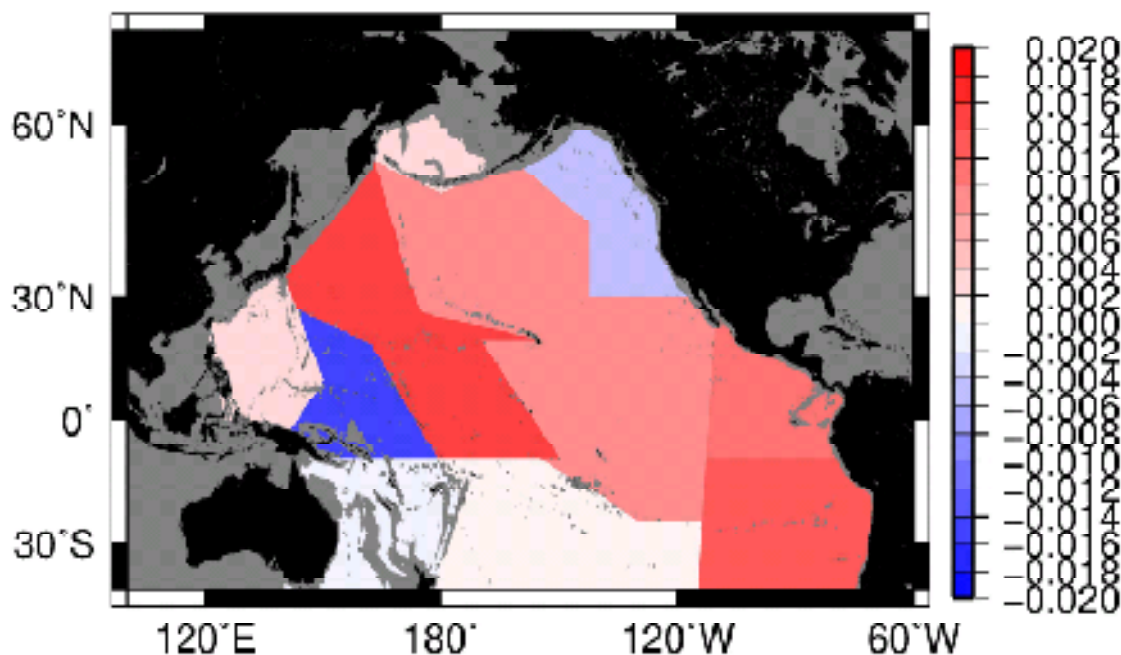
(f) 両者の和 ( $\Delta h$ ) (単位は mm/year)

次に TEOS-10 と EOS-80 の差および変化の割合  $\left(\frac{\text{TEOS-10}-\text{EOS-80}}{\text{TEOS-10}}\right)$  を Table4-2 及び Fig.4-2 及び Fig.4-3 に示す。

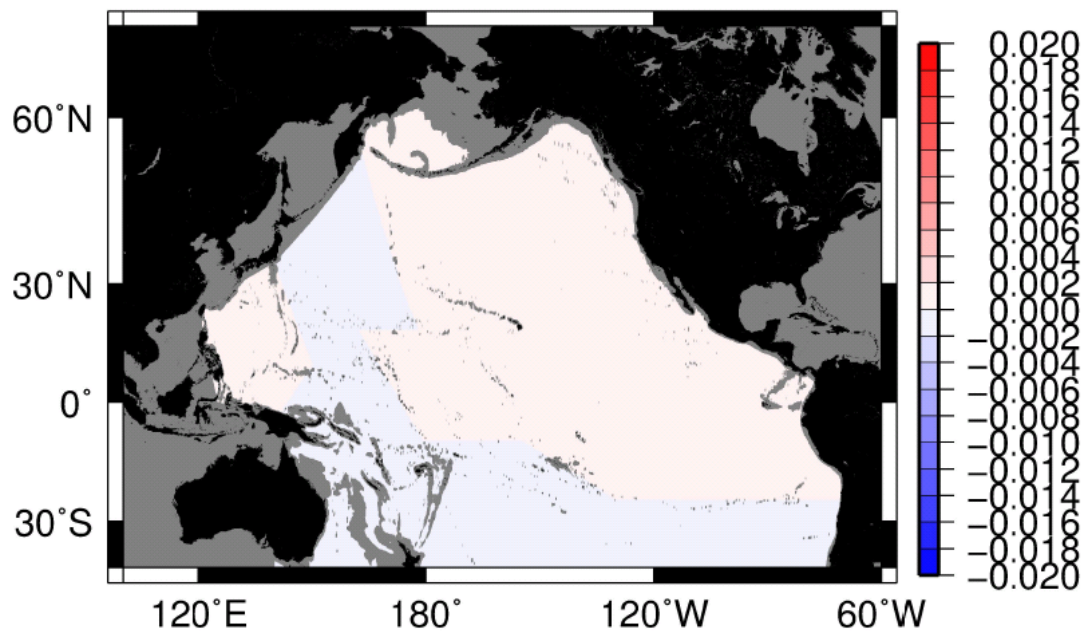
Table4- 2 各海盆におけるTEOS-10によって計算した海面水位とEOS-80によって計算した海面高度変化の差 (TEOS-10-EOS-80) と割合 ((TEOS-10-EOS-80/TEOS-10)。温度変化による海面高度変化の差 ( $\delta h_T$ )、塩分変化による海面高度変化の差 ( $\delta h_S$ )、両者の和 ( $\delta h$ ) を割合とともに記載。

Basin	TEOS-10-EOS-80			(TEOS-10-EOS-80)/TEOS-10		
	(mm/year)	(mm/year)	(mm/year)			
フィリピン海盆(海盆1)	0.0140	0.0002	0.0142	5.14%	-0.52%	15.00%
オーストラリア東部(海盆2)	0.0043	0.0000	0.0042	-2.35%	-0.54%	-2.04%
東カロリン海盆(海盆3)	-0.0348	-0.0009	-0.0357	14.65%	-0.44%	-13.68%
北西太平洋海盆(海盆4)	0.0581	-0.0008	0.0574	7.15%	-0.35%	2.89%
南西太平洋海盆(海盆5)	0.0206	-0.0005	0.0201	0.08%	-0.39%	-0.16%
ペルー沖(海盆6)	0.0385	0.0000	0.0385	11.03%	-0.23%	11.91%
南西太平洋海盆東部(海盆7)	0.0392	-0.0001	0.0391	10.33%	-0.44%	9.02%
中央太平洋海盆(海盆8)	0.0567	0.0000	0.0567	5.99%	-0.02%	6.92%
北太平洋中央部(海盆9)	0.0337	0.0004	0.0341	6.11%	-0.32%	-313.20%
北太平洋東部(海盆10)	-0.0150	0.0013	-0.0137	10.61%	-0.42%	1.04%
東太平洋海盆(海盆11)	0.0337	0.0006	0.0342	7.18%	-0.38%	-37.72%
東太平洋海盆東部(海盆12)	0.0301	0.0000	0.0301	11.07%	-0.62%	11.36%
ベーリング海(海盆13)	0.0116	0.0002	0.0119	7.16%	-0.48%	-68.45%

(a)



(b)



(c)

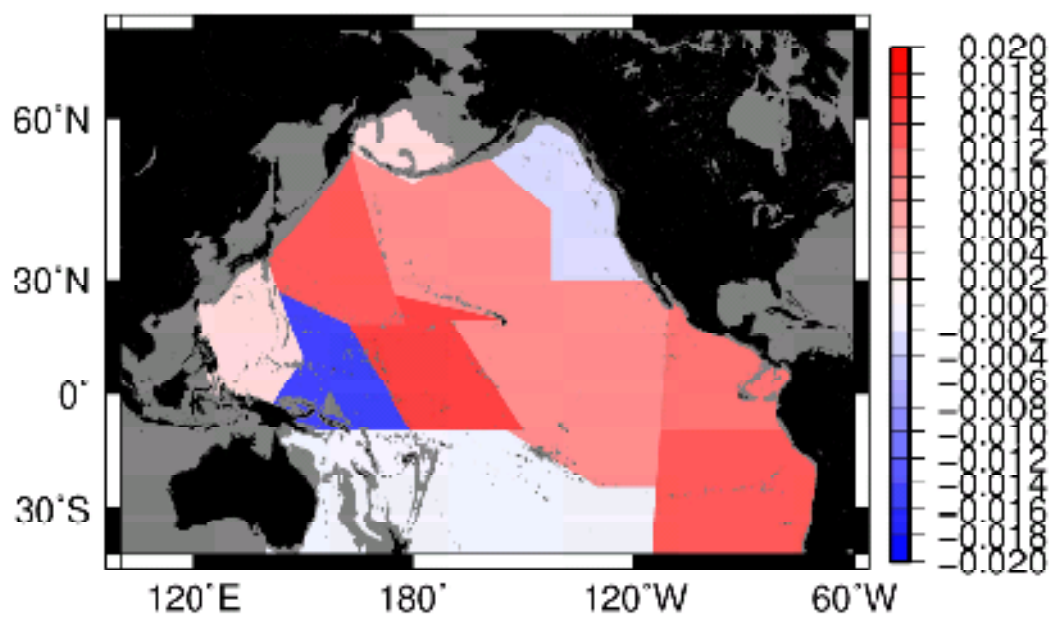


Fig.4- 2 TEOS-10 によって計算した海面水位変化と EOS-80 によって計算した海面水位変化の差。(a) 水温変化によるもの、(b) 塩分変化によるもの、(c) 両者の和。コンター間隔は Fig4-1 とは異なることに注意。



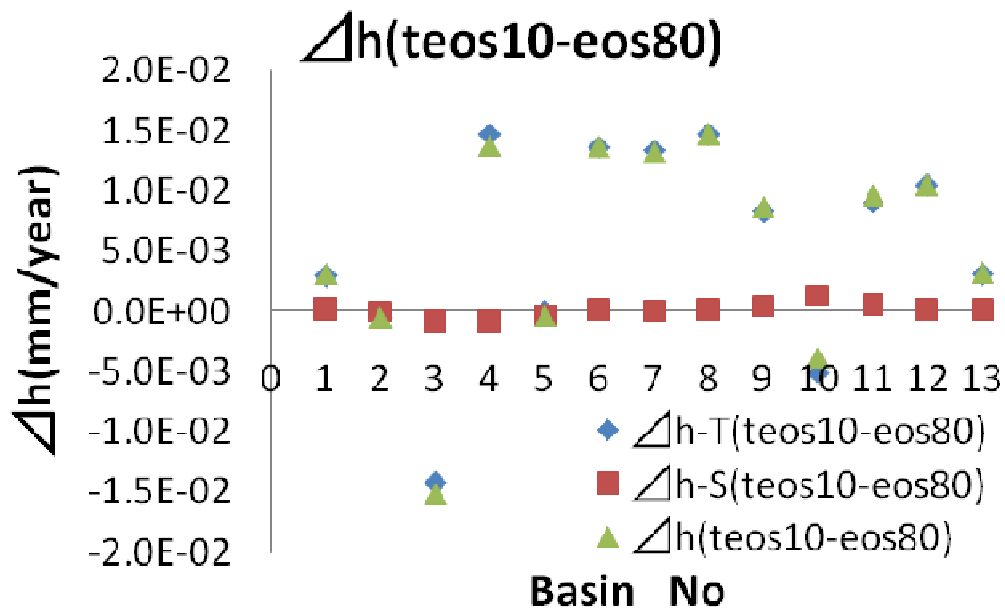


Fig.4- 3 2000 m 深における TEOS-10 による海面水位変化と EOS-80 による海面高度変化  $\Delta h$  (mm/year) の差。横軸は海盆番号。

見やすくするために、Fig.4-2 のコンターの間隔は Fig.4-1 とは異なり、拡大してある。Fig.4-2 をみると塩分変化による影響は小さく、温度による差が大きいことがわかる。Fig.4-3 に示すように、塩分変化による影響はほぼゼロなので、両者の和、すなわちトータルでの  $\Delta h$  の差はほとんどが温度変化による影響であることがわかる。詳細にみると、海盆 3 (東カロリン海盆)、海盆 10 (北太平洋東部) で差はマイナスの値つまり EOS-80 では海面水位変化を過大評価しており、海盆 1 (フィリピン海盆)、海盆 5 (南西太平洋海盆)、海盆 13 (ベーリング海) ではほとんど差がなく、その他の海盆では差がプラス、すなわち EOS-80 では過小評価になることがわかった。また、差は最大で 15% 程度にまでおよぶことがわかった。

このような差を生む要因としては、TEOS-10 と EOS-80 では温度変化にかかる係数 (熱膨張率)  $\alpha$ 、塩分変化にかかる係数  $\beta$  の計算方法がことなるため、 $\alpha$  と  $\beta$  の値に差がある場合と塩分の定義がことなるため、塩分変化の値に差がある場合が考えられる。そこで、温度変化にかかる係数  $\alpha$ 、塩分変化にかかる係数  $\beta$ 、2 回の観測の温度の差  $\Delta T$ 、塩分の差  $\Delta S$ 、を計算した。結果を Table.4-3 に示す。

Table4- 3 TEOS-10 と EOS-80 による温度変化にかかる係数  $\alpha$ 、塩分変化にかかる係数  $\beta$ 、2 回の観測の温度の差  $\Delta T$ 、塩分の差  $\Delta S$ 、一回目の観測の水温、塩分の平均。塩分については TEOS-10 は絶対塩分、EOS-80 については実用塩分で記載。

	$\alpha$ (S,T)	$\beta$ (S,T)	$\Delta T$	$\Delta S$	Temperture	Salinity
TEOS-10	0.000156	-0.000739	0.000280	1.85E-05	1.341748	34.85
	$\alpha$ (S,P)	$\beta$ (S,P)	$\Delta T$	$\Delta S$	Temperture	Salinity
EOS-80	0.000145	-0.000746	0.000281	1.84E-05	1.341748	34.67

Table4-3 から明らかなように、 $\beta$ 、 $\Delta T$ 、 $\Delta S$ 、にはほとんど差が見られず、 $\alpha$  のみ 7%ほどの差が見られた。すなわち、状態方程式を EOS-80 から TEOS-10 に変えることによって生じる海面高度変化の差は、 $\alpha$  の値の差に起因しているということがわかった。

#### 4-3 $\alpha, \beta$ の温度および塩分依存性

第 2 章でも示した通り、TEOS-10 での温度変化による層厚の変化は、第  $k$  層において、

$$\Delta h_{kT} = -\alpha (S, T, P) \cdot \Delta T \cdot dz \quad (2-5)$$

塩分の変化による層厚の変化は、

$$\Delta h_{kS} = \beta (S, T, P) \cdot \Delta S \cdot dz \quad (2-6)$$

となり、 $\alpha$ 、 $\beta$  は塩分、温度、圧力の関数になっている。

一方 EOS-80 の温度変化による層厚の変化は、第  $k$  層において、

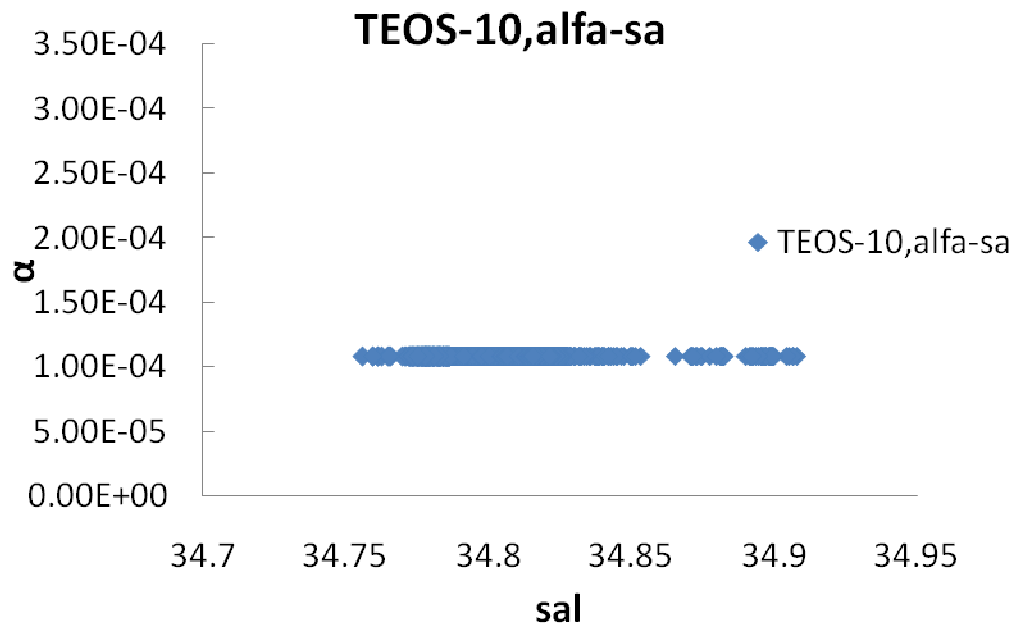
$$\Delta h_{kT} = -\alpha (S, P) \cdot \Delta T \cdot dz \quad (2-5)$$

塩分の変化による層厚の変化は、

$$\Delta h_{kS} = \beta (S, P) \cdot \Delta S \cdot dz \quad (2-6)$$

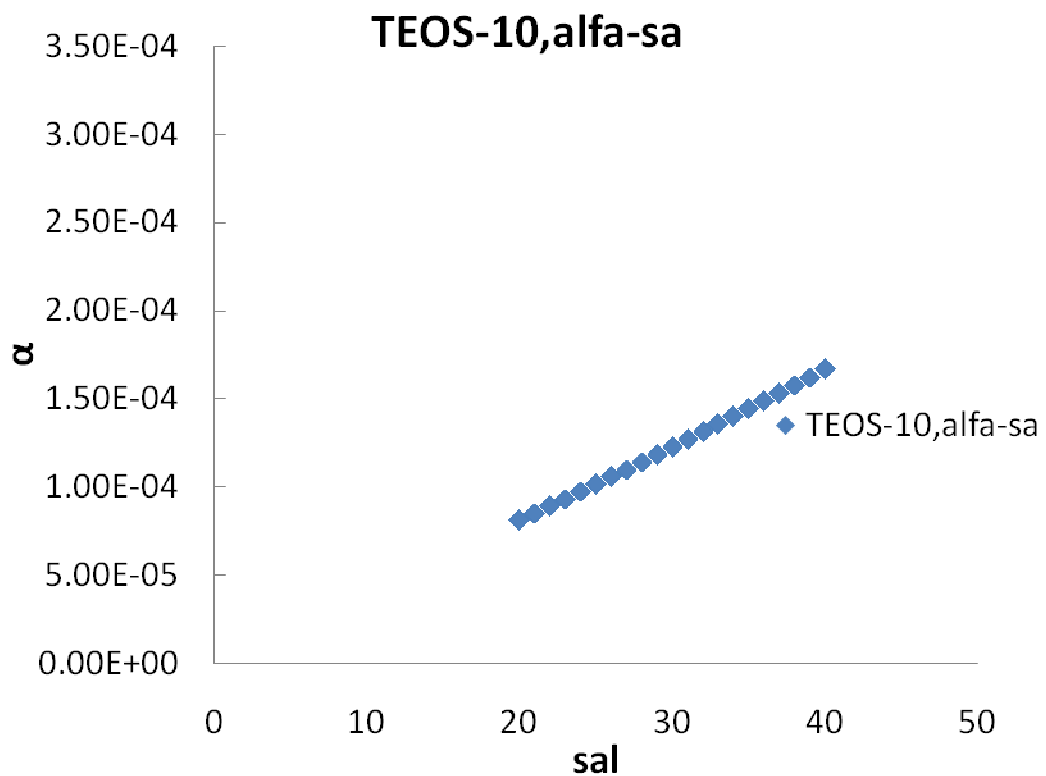
となり、 $\alpha$ 、 $\beta$  は塩分、圧力の関数となっている。そこで、 $\alpha$  および  $\beta$  の温度、塩分、圧力の依存性が TEOS-10 と EOS-80 でどのように異なるかを調べた。

まず、TEOS-10 の  $\alpha (T, S, P)$  の塩分依存性を見るために、2000 m 深において、温度を本研究での平均値 (1.341748 °C) とし、本研究で扱った 2000 m での塩分の範囲で  $\alpha$  を計算した結果を Fig.4-4 に示す。



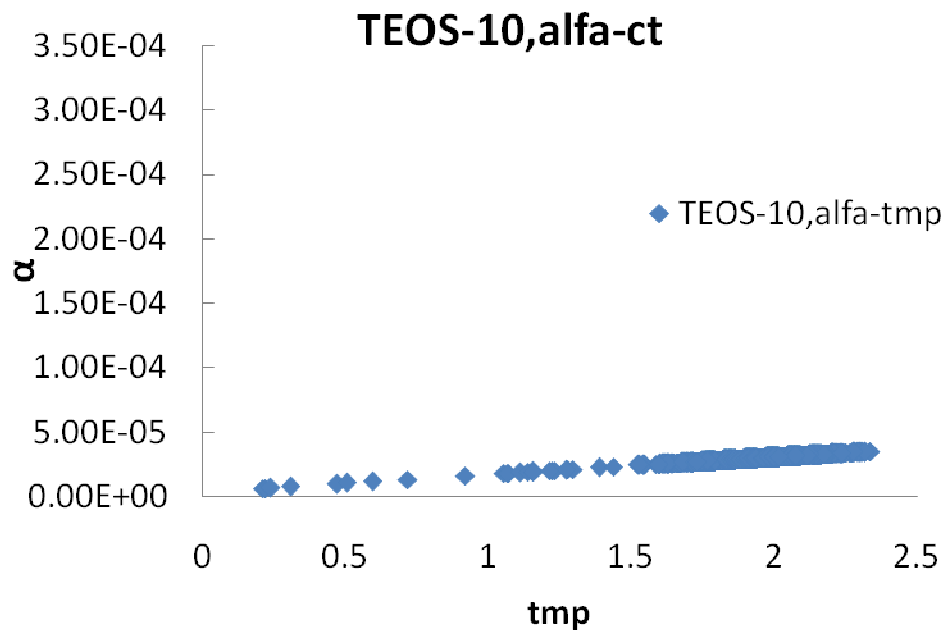
**Fig.4- 4** TEOS-10 で計算した温度変化にかかる  $\alpha$  の 2000 m 深における塩分依存性。温度は平均値とし、塩分は本研究であつかった 2000 m 深での範囲とした。

この塩分の範囲ではほぼ直線となり、その範囲は  $1.085 \pm 0.002 \times 10^{-4}$  であった。さらに塩分の範囲を広げた場合 (Fig.5-5) においてもほぼ直線となり、TEOS-10 の場合、温度変化にかかる係数  $\alpha$  は塩分変化に対しほぼリニアに変化することがわかった。



**Fig.4- 5** Fig.4-4 と同じ。ただし、塩分の範囲を 20 から 40 とした。

次に、TEOS-10 の  $\alpha$  (T,S,P) の温度依存性を見るために、2000 m 深において、塩分を本研究での平均値（実用塩分で 34.85399）とし、本研究で扱った 2000 m の温度の範囲で  $\alpha$  を計算した結果を Fig.4-6 に示す。



**Fig.4- 6** TEOS-10 で計算した温度変化にかかる係数  $\alpha$  の 2000 m 深における温度依存性。塩分は平均値とし、水温は本研究であつかった 2000 m 深での温度の範囲とした。

塩分依存性と同様、この温度範囲では、ほぼ直線となり、その範囲は  $(0.22 \pm 0.18) \times 10^{-4}$  となった。温度の範囲を拡大し、0~30 °C では、塩分の依存性は、Fig.4-7 に示す通り、やや上に凸の曲線となる。

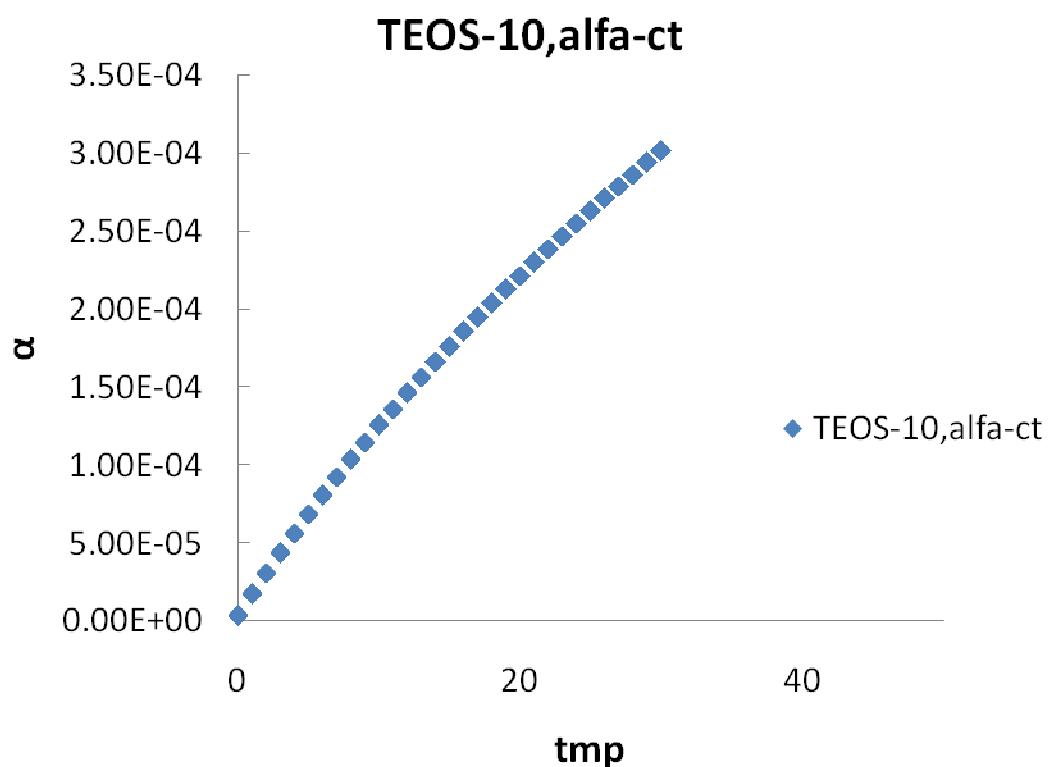


Fig.4- 7 Fig.4-6 と同じ。ただし、温度の範囲を 0 °C から 30 °C とした。

さらに、TEOS-10 の  $\beta$  (T,S) の塩分依存性を見るために、2000 m 深において、温度を本研究での平均値 (1.341748 °C) とし、本研究で扱った 2000 m での塩分の範囲で  $\beta$  を計算した。その結果を Fig.4-8 に示す。

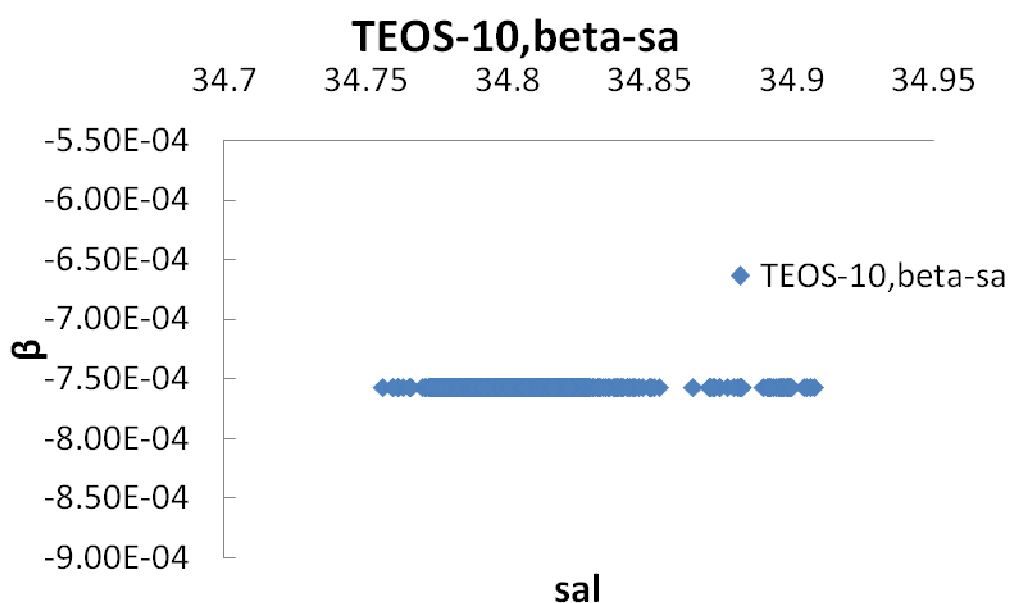
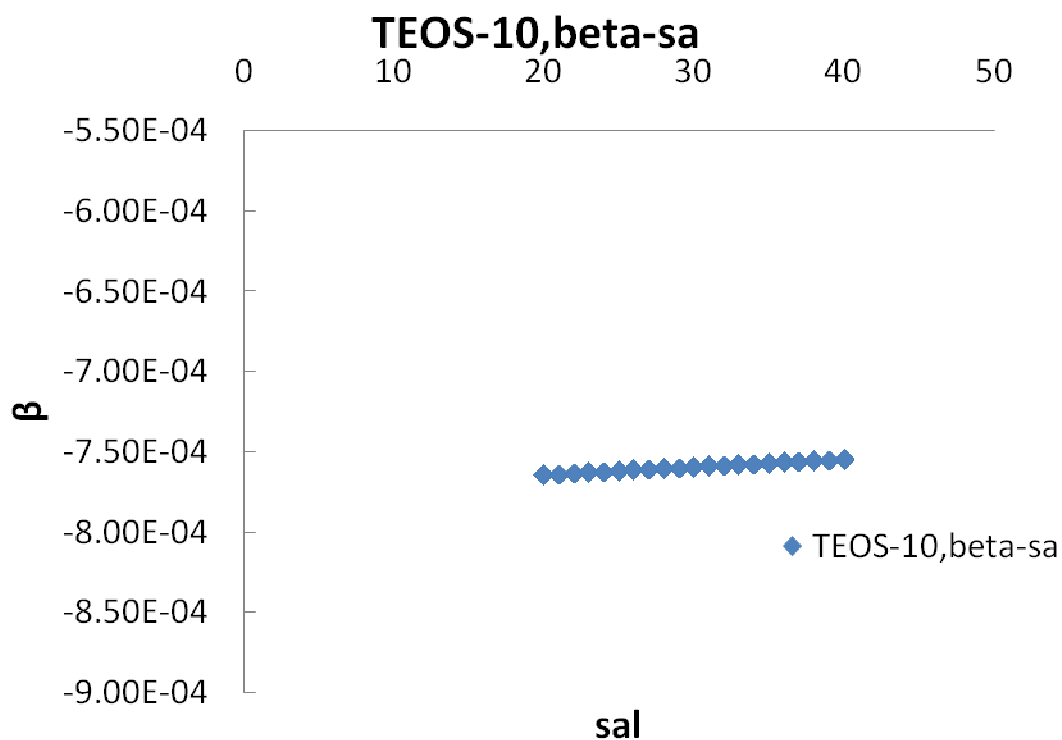


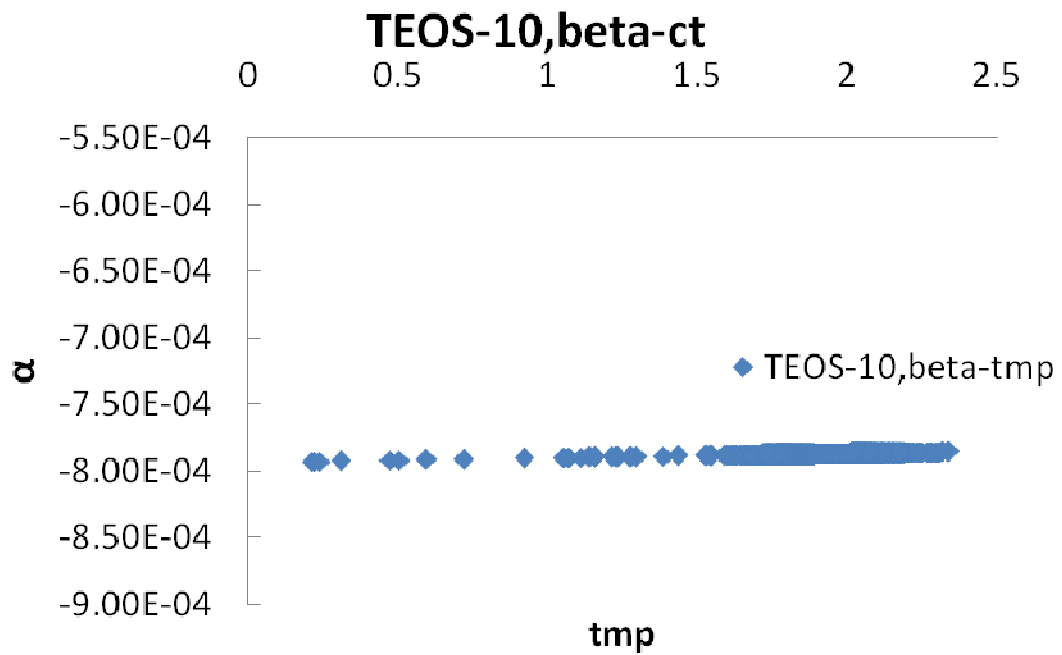
Fig.4- 8 TEOS-10 で計算した塩分変化にかかる係数  $\beta$  の 2000 m 深における塩分依存性。水温は平均値とし、塩分は本研究であつかった 2000 m 深での範囲とした。

この塩分の範囲では、ほぼ直線となり、その範囲は  $(-7.5734 \pm 0.0004) \times 10^{-4}$  となった。塩分の範囲を 20~40 まで広げた場合 (Fig.4-9) でも、やはりほぼ直線となる。 $\alpha$  の場合と同様、塩分変化にかかる係数  $\beta$  も塩分に対してほぼリニアに変化することがわかった。



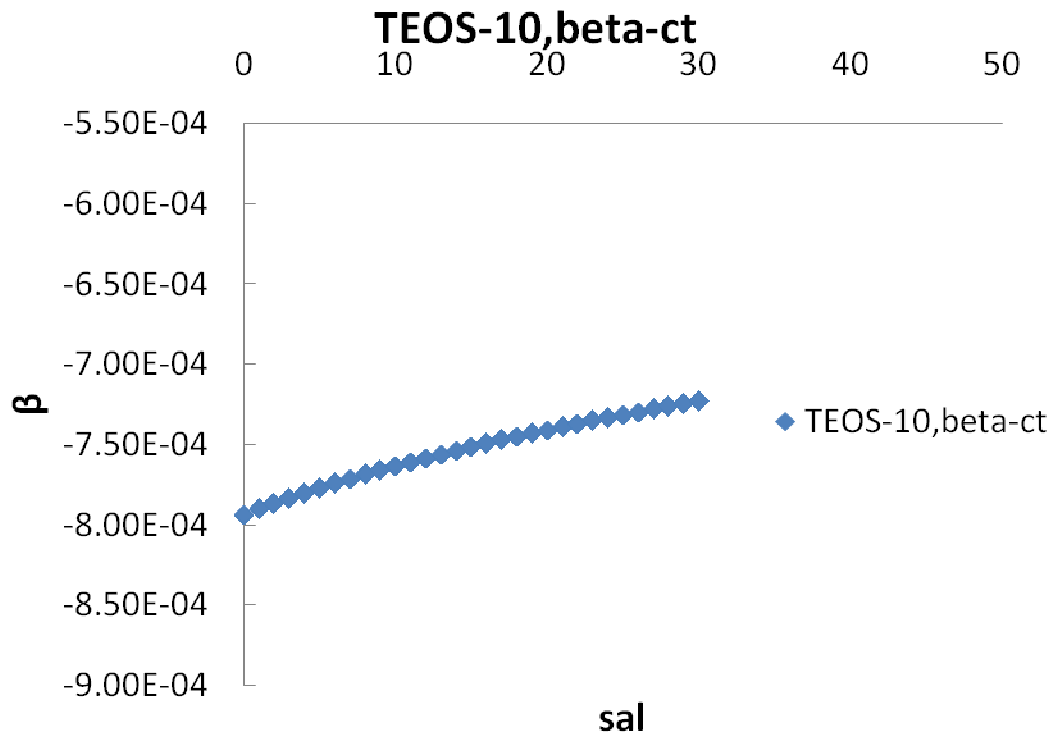
**Fig.4- 9** Fig.4-8 と同じ。ただし、塩分の範囲を 20 から 40 とした。

さらに、TEOS-10 の  $\beta$  (T,S) の温度依存性を見るために、2000 m 深において塩分を本研究での平均値 (34.85399) とし、本研究で扱った 2000 m での温度範囲において  $\beta$  を計算した。その結果を Fig.4-10 に示す。



**Fig.4- 10** TEOS-10 で計算した塩分変化にかかる係数  $\beta$  の 2000 m 深における温度依存性。塩分は平均値とし、水温は本研究であつかった 2000 m 深での温度の範囲とした。

これも他の係数と同様、この温度範囲ではほぼ直線となり、その範囲は、 $(-7.905 \pm 0.040) \times 10^{-4}$  であった。温度範囲を 0 °C~30 °C までに広げると (Fig.4-11)、 $\alpha$  同様、やや上に凸の曲線となる。



**Fig.4- 11** Fig.4-10 と同じ。ただし、水温の範囲を 0 °C から 30 °C とした。

以上を纏めると、 $\alpha$ 、 $\beta$  とも塩分に対しては、ほぼリニアに変化し、水温に対してはやや上に凸の曲線となるという特性をもつが、本研究であつかった塩分や水温の範囲では  $\alpha$  もほぼリニアに変化することがわかった。また、本研究であつかった塩分や水温の範囲では、 $\alpha$  の温度依存性が最も大きく、その変化は  $\pm 0.18 \times 10^{-4}$  であり、他の依存性 ( $\alpha$  の塩分依存性、 $\beta$  の水温依存性、 $\beta$  の塩分依存性) に比して一桁ないし二桁大きいことがわかった。

続いて、EOS-80 について、調べる。EOS-80 による  $\alpha$  と  $\beta$  はどちらも塩分と圧力の関数であるため、ここでは塩分依存性のみを調べる。

EOS-80 の  $\alpha$  (S,P) の塩分依存性を見るために、2000 m 深において温度を本研究での平均値 (1.341748 °C) とし、本研究で扱った 2000 m 深での塩分範囲で  $\alpha$  を計算した。その結果を Fig.4-12 に示す。



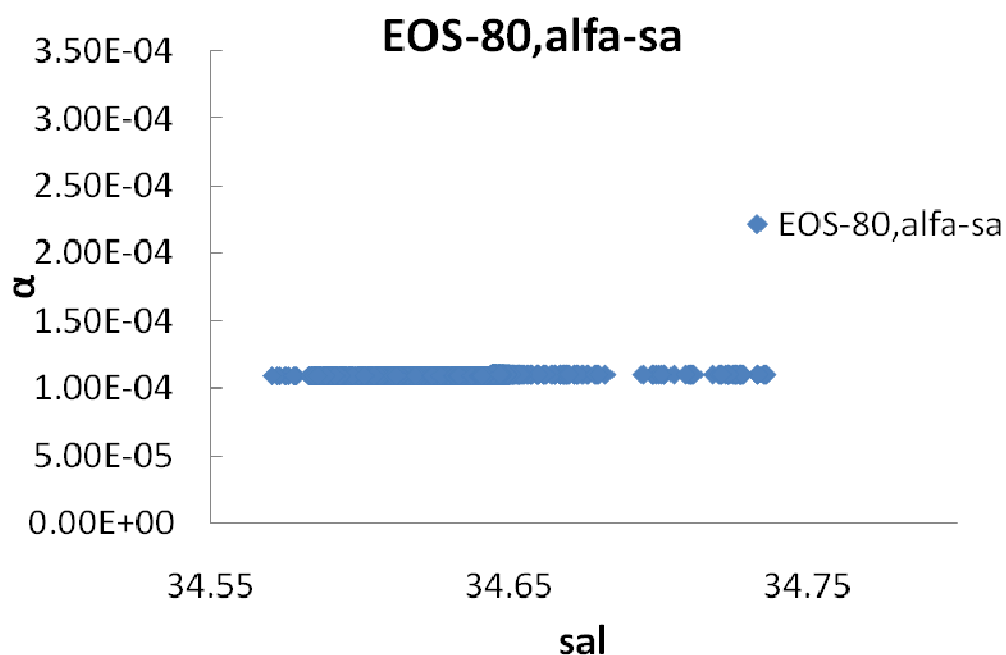


Fig.4- 12 EOS-80 で計算した水温変化にかかる係数  $\alpha$  の 2000 m 深における塩分依存性。水温は平均値とし、塩分は本研究であつかった 2000 m 深での範囲とした。

TEOS-10 の場合と同様、ほぼ直線となり、その範囲は  $(1.0960 \pm 0.0025) \times 10^{-4}$  となった。塩分の範囲を 20~40 に拡大しても (Fig.4-13)、ほぼ直線となる。

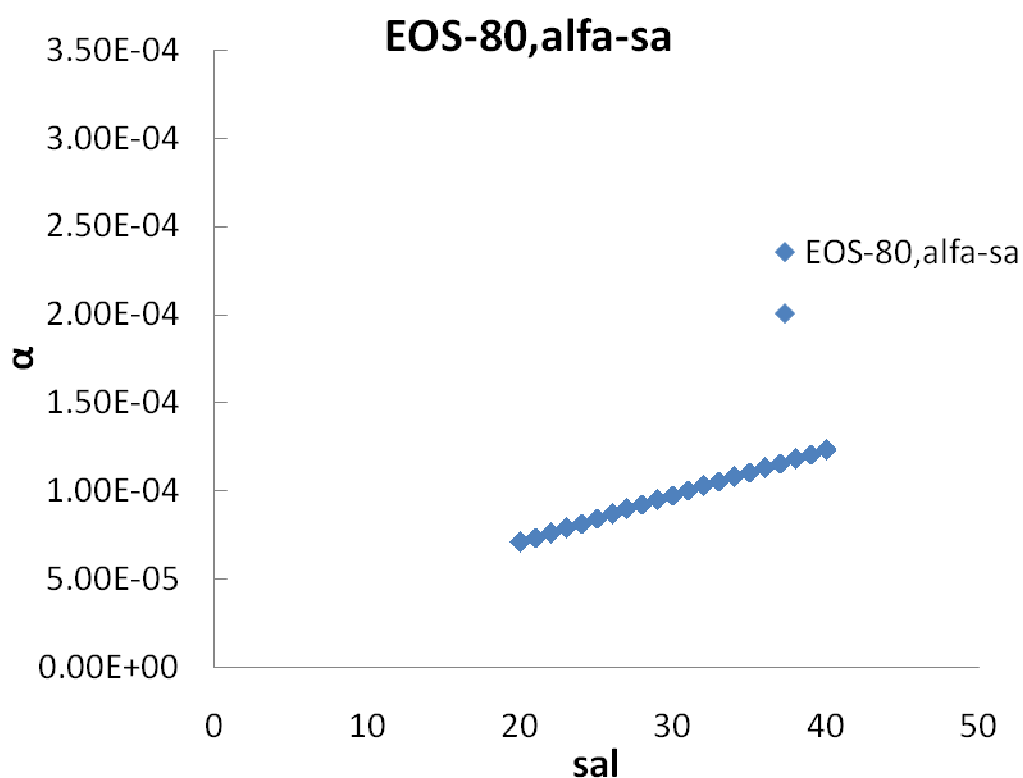
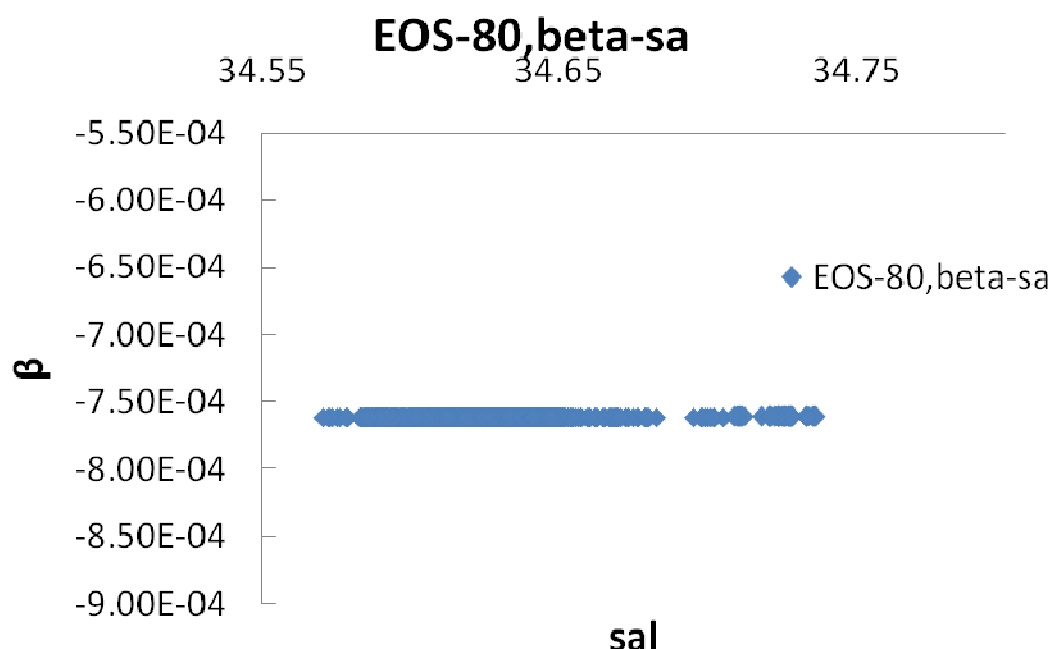


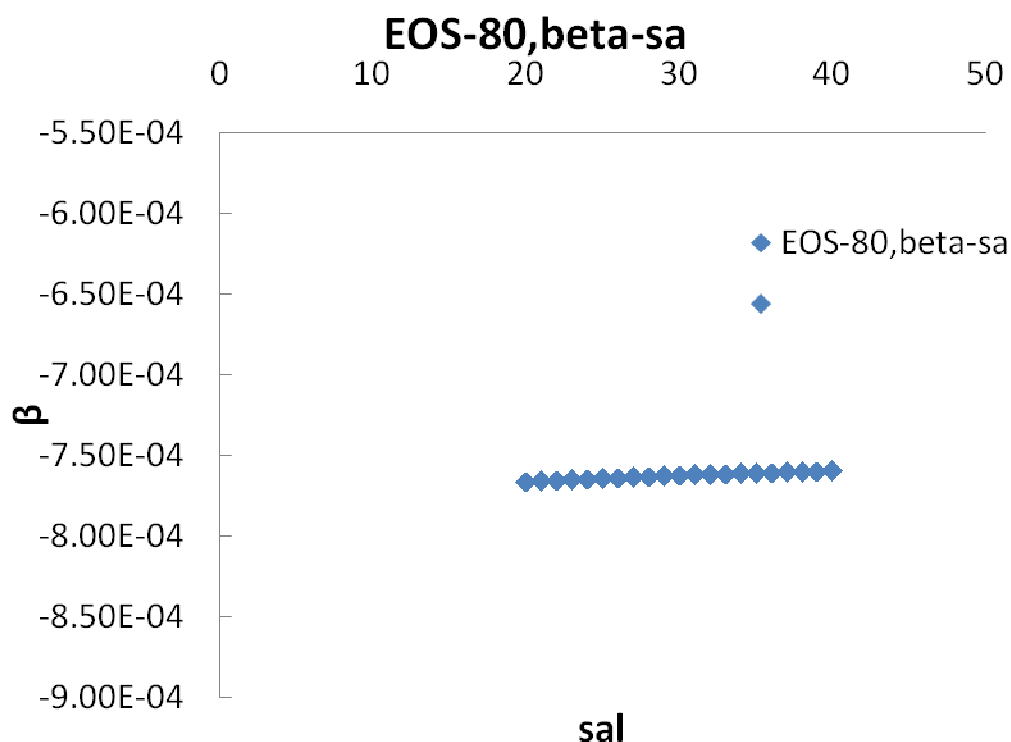
Fig.4- 13 Fig.4-12 と同じ。ただし、塩分の範囲を 20 から 40 とした。

次に EOS-80 の  $\beta$  (S,P) の塩分依存性を見るために、2000 m 深において温度を本研究での平均値 (1.341748 °C) とし、本研究で扱った 2000 m での塩分の範囲で  $\beta$  を計算した結果を Fig.4-14 に示す。



**Fig.4- 14** EOS-80 で計算した塩分変化にかかる係数  $\beta$  の 2000 m 深における塩分依存性。水温は平均値とし、塩分は本研究であつかった 2000 m 深での範囲とした。

ほぼ直線になっており、その範囲は、 $(-7.61270 \pm 0.00025) \times 10^{-4}$  となった。塩分の範囲を 20~40 まで広げて計算した結果 (Fig.4-15)、やや上に凸の曲線となることがわかった。



**Fig.4- 15** Fig.4-14 と同じ。ただし、塩分の範囲を 20 から 40 とした。

以上をまとめると、EOS-80 の場合、 $\alpha$  は塩分に対してほぼニアに変化し、 $\beta$  は若干上に凸の曲線となるという特性をもつが、TEOS-10 と同様、本研究であつかう水温や塩分の範囲ではほぼニアに変化することがわかった。また、依存性は TEOS-10 による  $\alpha$ 、 $\beta$  の塩分依存性とほぼ同程度であることがわかった。

4-2 節において、TEOS-10 で計算した  $\Delta h$  と EOS-80 で計算した  $\Delta h$  の間に最大 15%程度の差を生む原因は TEOS-10 で計算した  $\alpha$  の値が EOS-80 で計算した  $\alpha$  の値より約 7%大きいためであると指摘したが、 $\alpha$  に差がでる原因は、TEOS-10 による  $\alpha$  の温度依存性はその他、即ち、 $\alpha$  の塩分依存性や  $\beta$  の温度依存性、 $\beta$  の塩分依存性より著しく大きいためであることがわかった。

## 5 章 結言

最後に、本研究のまとめをする。

本研究では、新しい観測線 P09 のデータを取り入れ、海盆区分を自由に変えて、計算を実施することを可能とする計算用のプログラムを作成した。

海底地形および Purkey & Johnson (2010) に倣い太平洋を 13 に区分して海盆ごとに水温変化、塩分変化が海面高度変化にどのように寄与するかを詳しく解析した結果、

- ・深層（2000 m 以深）は、表層の海面高度変化のおよそ-12~16%程度である。海盆によって大きな差が出た。

- ・深層の水温変化・塩分変化の海面高度変化への影響は海盆毎に異なる。水温変化による寄与と塩分変化による寄与が海盆毎に異なり、北西太平洋海盆（海盆 4）、南西太平洋海盆（海盆 5）、南西太平洋海盆東部（海盆 7）は水温変化、塩分変化の両方の寄与により海面高度が上昇している。フィリピン海盆（海盆 1）、オーストラリア東部（海盆 2）、ペルー沖（海盆 6）、中央太平洋海盆（海盆 8）、北太平洋中央部（海盆 9）、東太平洋海盆東部（海盆 12）、ベーリング海（海盆 13）は温度による寄与が大きいため、海面高度が上昇している。海盆 3 は塩分による寄与が大きいため海面高度が上昇している。北太平洋東部（海盆 10）は水温変化、塩分変化の両方の寄与により海面高度が下降している。東太平洋海盆（海盆 11）は水温変化、塩分変化の寄与があるが、相殺して、見かけ上の海面高度変化はほとんどない、ということがわかった。

- ・海面高度上昇が最大だったのは北西太平洋海盆（海盆 4）で 0.468 mm/year、一方、海面高度の下降が最大だったのは北太平洋東部（海盆 10）で、-0.374mm/year 下降した。

- ・海面高度上昇は CDW の経路に沿って生じていることがわかった。

- ・2000 m 以深での海面高度変化  $\Delta h$  は、5000 m 深から 3000 m 深に極大を持ち、北上するに従って深くなっていることがわかった。これは、CDW の存在する深度が北上するに従って深くなるという過去の知見と一致した。また、この CDW の変化が 2000 m 深における海面高度変化  $\Delta h$  に最も強く影響を与えていることがわかった。

- ・全体として、温度による海面高度変化  $\Delta h_T$  は上昇に寄与している部分が多く、塩分による海面高度変化  $\Delta h_S$  は特に北東太平洋において下降に寄与している地域が多かった。それらの和  $\Delta h$  を見ると、南西部では上昇、北東部では下降といった大きな構造が見られた。このことから、海面高度変化を考える上で、温度による寄与のみならず、塩分の寄与についても考慮する必要があると言える。

新しい状態方程式 TEOS-10 と今までの EOS-80 の比較を行った結果、

- ・状態方程式を EOS-80 から TEOS-10 に変えることによって生じる海面高度変化には温度による海面高度変化  $\Delta h_T$  にのみ差があった。調べると、その差は、温度にかかる係数  $\alpha$  の値の差に起因しているということがわかった。

## 参考文献

- ECOJAPAN の HP より URL:<http://eco.nikkeibp.co.jp/em/keyword/39/index.shtml>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 第 1 次評価報告書 (First Assessment Report :FAR) , 1990
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 第 2 次評価報告書 (Second Assessment Report :SAR) ,1995
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 第 3 次評価報告書 (Third Assessment Report :TAR) ,2001
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 第 4 次評価報告書 (4thAssessment Report :AR4) ,2007
- Joyce, T., and C. Corry, 1994: REQUIREMENTS FOR WOCE HYDROGRAPHIC PROGRAMME DATA REPORTING, WOCE Report 67/91, WHP0 Publication 90-1 Revision 2
- K. Katsumata (2010) , Heat content change in the Pacific Ocean between 1990s and 2000s, Deep Sea Research Part II, 57, 1141–1151
- Kawano T., et., al,: 2010: Heat content change in the Pacific Ocean between 1990s and 2000s, Deep Sea Research Part II, 57, 1141–1151
- Kawano, T., T. Doi, H. Uchida, S. Kouketsu, M. Fukasawa, Y. Kawai, and K. Katsumata (2010) , Heat content change in the Pacific Ocean between the 1990s and 2000s, Deep Sea Res. Part II, 57, 1141–1151.
- Kouketsu, S., et al., 2011: Deep ocean heat content changes estimated from observation and reanalysis product and their influence on sea level change. Journal of Geophysical Research-Oceans, 116. (2011)
- Masao Fukasawa, Howard Freeland, Ron Perkin, Tomowo Watanabe, Hiroshi Uchida & Ayako Nishina, 2004:Bottom water warming in the North Pacific Ocean, Nature, 427, 825-827,
- McDougall , T. J., D. R. Jackett and F. J. Millero, 2009: An algorithm for estimating Absolute Salinity in the global ocean, Ocean Science Discuss, 6, 215-242.
- Millero, F. J., R. Feistel, D. G. Wright, T. J. McDougall, 2008: The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Seawater, Deep-Sea Research I, 55, 50-72.
- P09 CRUISE REPORT, 2011:  
[http://cchdo.ucsd.edu/data/co2clivar/pacific/p09/p09\\_49UP20100706/p09\\_49UP20100706do.pdf](http://cchdo.ucsd.edu/data/co2clivar/pacific/p09/p09_49UP20100706/p09_49UP20100706do.pdf)
- Purkey, S. G., and G. C. Johnson (2010) , Warming of global abyssal and deep Southern Ocean between the 1990s and the 2000s: Contributions to global heat and sea level rise budgets, J. Clim., 23, 6336–6351,

doi:10.1175/2010JCLI3682.1.

- Purkey, S. G., and G. C. Johnson, 2010:** Warming of Global Abyssal and Deep Southern Ocean Waters Between the 1990s and 2000s: Contributions to Global Heat and Sea Level Rise Budgets. *Journal of Climate*, 23, 6336 -6351.
- Shinya Kouketsu, Toshimasa Doi, Takeshi Kawano, Shuhei Masuda, Nozomi Sugiura, Yuji Sasaki, Takahiro Toyoda, Hiromichi Igarashi, Yoshimi Kawai, 2011, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 116, C03012, doi:10.1029/2010JC006464,** Deep ocean heat content changes estimated from observation and reanalysis product and their influence on sea level change the 1990s and 2000s, *Deep Sea Res. Part II*, 57, 1141–1151.
- WOCE Operations Manual, 1994:** WOCE Report No. 68/91, WHP Office Report WHPO 91-1
- 河野 健、2010 :** 新しい海水の状態方程式と新しい塩分 (Reference Composition Salinity) の定義について、*海の研究*、19 (2)、127-137
- 河野健、2004:** 高精度塩分測定手法と標準海水のオフセットテーブルを用いたデータ補正法の高度化、*水路*、130, 19-22
- 河野健、2010:** 海洋深層循環と熱輸送に関する観測研究の動向、*科学技術動向*、No.116, 23-33
- 海洋観測指針、1999:** 気象庁編



## 謝辞

まずはじめに、本研究を進めるにあたり、お忙しい中熱心に細かい部分までご指導くださった、東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻の河野健教授に心より感謝申し上げます。修士論文のテーマが決まったのが割合遅く、本研究の分野にあまり詳しいとは言えない私が、ここまで研究してこられたのは河野先生のご指導とアドバイスのおかげです。

また、卒業論文のときからお世話になり、PROMS、SUMMIT で常にアドバイスを下さり、健康面にまで配慮してくださった東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻の佐藤徹教授にも心より感謝申し上げます

また研究について、平面分布図の書きかた、海面高度変化計算プログラムについて助言を下さった JAMSTEC の瀬瀬慎也博士、内田裕博士、土居知将氏にも感謝申し上げます。

楽しい研究室生活を送らせてくださった同じ研究室の D2 の福元さん、M1 の高橋くん、佐藤くん、中島くん、特にいつも隣で 2 年間研究した同期の中馬くんには本当にお世話になりました。ありがとうございます。

また佐藤研究室の秘書の関さんにも、感謝いたします。

最後に、私が本論文を作成するにあたってご協力して下さったすべての方々に心より深く感謝致します。本当にありがとうございました。