

## 船舶を用いた海面乱流フラックスの自動観測

### Automated observation of sea surface eddy flux on a cruising ship

高橋 聡司 (Satoshi Takahashi)<sup>1)</sup>

塚本 修 (Osamu Tsukamoto)<sup>2)</sup>

石田 廣史 (Hiroshi Ishida)<sup>3)</sup>

米山 邦夫 (Kunio Yoneyama)<sup>4)</sup>

Sea surface eddy fluxes were evaluated with the eddy correlation method including ship motion correction for the wind vector components. Previous ship motion correction algorithm was revised as a simple scheme setting a motion sensor at the same place with the sonic anemometer. This revised eddy flux system was mounted as a routine continuous measurement system on the R/V 'Mirai' of Japan Marine Science and Technology Center.

The first cruise was conducted at the tropical western Pacific in June 2000. Continuous sea surface fluxes were obtained and the data quality was checked with some parameters. This system is planned to be developed as a automated data processing system including ship motion correction and real-time flux evaluation system. These eddy fluxes can be integrated with the bulk fluxes and radiation fluxes to understand sea surface heat balance over the global ocean.

**Keywords:** Sea surface flux, Automated observation, Eddy correlation method

#### I. はじめに

現在、地球の各地において大雪や大雨、ハリケーンなどの大きな熱帯低気圧や巨大な竜巻などの異常気象や災害が起きている。日本においても冷夏や暖冬などの例年にはない異常な気候が近年においてその頻度を増している。また、最近の人工衛星を使用したリモートセンシングによる気象研究の進歩においてエルニーニョやラニーニャなどの太平洋赤道海域での水温分布の異常が認められている。このように現在起こっている地球規模の気候の変動を見るためには地球表面の7割の面積を占めている海洋、とりわけ海面での熱収支をを研究することは不可欠

である。

大気と地表の間での熱収支を考えると、地表面に入ってくるものは、主に太陽放射が支配する純放射フラックス、地表面から大気に出ていくものとして乱流による顕熱フラックス、潜熱フラックスがある。海洋において表面は水であるために、海洋では陸地より Bowen 比が大きく、水の蒸発に関係のある潜熱フラックスは陸地よりも更に重要な要素となっている。

地表から大気に輸送されるこれら熱エネルギーや水蒸気量の測定は、温度計、湿度計、風速計などの一般的な観測機器を用いた場合、熱収支法やバルク法などによって求めることになるが、これらの方法では経験的な係数などを含むために精度的には多少の不確定性がある。この問題に対して、現在では観測機器の進歩により超音波風速計、赤外線湿度計など他の観測機器よりも応答時間の短い乱流計測器を用いて風速・気温・湿度などの乱流変動を直接

1) 岡山大学大学院自然科学研究科  
〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1

2) 岡山大学理学部地球科学科  
〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1

3) 神戸商船大学/地球観測フロンティア  
〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1

4) 海洋科学技術センター  
〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2-15

観測することが可能となっている。これらの観測によって得られた変動値を用いて運動量フラックス、顕熱フラックス、潜熱フラックスなどの乱流フラックスを直接計算する渦相関法はもっとも精度が良いと考えられており、陸面での観測において最近非常に多く用いられている。本論文では、海洋を航行する船舶上で、この方法を用いて海面乱流フラックスを自動観測する方法について述べる。

## II. 船舶を用いた海面フラックス測定

船舶でのフラックス測定には、バルク法が最も多く用いられているが、乱流変動を用いた渦相関法や Inertial Dissipation 法も用いられるようになってきた(塚本, 2001)。この場合に、風速や気温・湿度の乱流変動を船体の影響を受けないようにして測定することは容易ではない。一般的には船体による力学的影響(風)と熱的影響(気温、海面温度、相対湿度)が大きく、これらの影響を最小限に抑えるには船の前部に大きな障害物がないこと、測定場所が出来るだけ船首に近く、高い場所にあることが望ましい。場合によっては船首から観測用ブームを出すことも必要になるが、荒天時には観測機器がしぶきや波をかぶり、場合によっては破損することもあるので条件をよく検討する必要がある。そのため長期的には、出来るだけ船首部にあるマストの頂部に機器を設置するのがよい。

船舶やブイなどのプラットフォームが動揺する場所で渦相関法を適用して乱流フラックスを得ることは、陸上などの固定点での観測とは大きく異なり、さらに煩雑な計測とデータ処理が必要になる。

まず、超音波風速計で測定される風速成分は風速計に相対的な風を測るので、風速計自身が船体と共に動揺すると二種類の補正が必要になる。

① 風速計の傾斜角が絶えず変化するために、地球に相対的な座標系(絶対座標系)でみた風速成分への変換について、時々刻々の傾斜角から絶対座標系への変換を必要とする。これは陸

上で風速計が傾いて設置されている場合の補正と同じであるが、傾斜角が時間と共に変化するために各瞬間の風速成分についてこの補正が必要になる。さらには2方向の傾斜角だけでなく、船の進行方向が変わった場合には進路方向の変化も補正の対象となる。

② 風速計が動揺することで、風速計に対する見かけの風速が生まれる。そのために風速計の動揺を3次的に測定する必要がある。これをさらに分類すると、船体の回転に伴う動揺成分と、3方向への並進運動に伴う動揺成分とがある。しかし、これらの動揺速度成分を精度良く直接測定することはできず、一般には Rate Gyro (角速度計) や加速度計の信号を時間積分して速度成分を求める。

このような動揺計測、補正技術は航空機による風速成分の測定と同じ原理であり、Axford(1968)による技術を導入した Mitsuta and Fujitani(1974)が初めて船舶に応用した。その後、いくつかの改良を加えて Fujitani (1985)、Fujitani(1992)などの発展がみられた。これらに続いて最近 10 年間ほどの間には、以下のような研究が行われた。

1998、1991年に本州南方海域(35N、135E)における海洋混合層の観測である WCRP/OMLET プロジェクトにおいて、東京大学の研究船「白鳳丸」を用いて特別観測が行われた。「白鳳丸」の前部マスト頂部に超音波風速温度計と熱電対乾湿計を設置し、船の動揺成分は重心位置にあるジャイロから取り出した。そして、動揺のピッチング角、ローリング角、ヨーイング角と3方向の重心位置の加速度計の積分による運動速度の値を用いて風の動揺補正を行っている。この補正方法は、観測機器と重心の間の距離や角度が計算に必要となり複雑になっている(Tsukamoto et al.,1990)、(Tsukamoto et al.,1995)。1992年にエルニーニョ解明のための TOGA-CORE プロジェクトとして、西太平洋赤道海域(156E)において白鳳丸で OMLET と同様の手法であるが新しく開発された赤外線湿度計を用いて、地球上で最も暖かい赤道域での大気・海洋間のフラックス



図1 海洋地球研究船「みらい」

観測が行われた(Tsukamoto and Ishida, 1995)。また、1999年に日米共同研究 Nauru99 プロジェクトとして西太平洋赤道海域にて新しく就航した海洋科学技術センター所属の「みらい」で観測が行われた。前部マスト頂部に超音波風速温度計、赤外線湿度計を設置したのはこれまでと同様であるが、ここでは加速度計を前部マストの同じ場所に設置して直接観測機器の動揺を測定、風の動揺補正計算を単純化して乱流フラックスの観測を行った。(Takahashi et al., 2000)

海外では Bradley et al., (1991)、Friehe et al., (1991)、Fairall et al., (1997)、Edson et al., (1998)などの例があるが、陸上観測に比べるとこの手法が使えるグループは数えるほどしかなく、国内では唯一のものである。

### III. 海洋地球研究船「みらい」

海洋科学技術センター所属の海洋地球研究船「みらい」は、全長130m、幅19m、総トン数8700トンの観測船としては世界最大のもので、約60日間、12,000マイルの連続航海が可能である。(図1)

「みらい」のミッションは、主なものとして①海洋の熱循環の解明、②海洋の物質循環の解明、③海洋の生態系の解明、④海洋底ダイナミクスの解明、⑤海洋観測ブイの展開となっており、主要な常設観測研究設備には、海洋に関するものと大気に関するものに分けることが出来る。海洋に関するものとしては、CTD採水装置

や表層海水分析、生物・化学分析を行うことが出来る設備がある。大気に関するものとしては、ドップラーレーダー、ラジオゾンデ、大気ガスを観測する装置などが設置されている。「みらい」は多数部門の協力を要する海洋調査研究に取り組む共同利用型研究船であるために、これら常設の観測設備のほかに、多数の研究コンテナの搭載も可能となっている。「みらい」は、これらの観測設備を運用し一年を通して世界中で観測を行っている

### IV. 観測機器

後に述べる2000年度のMR00-K04航海から常設乱流計測機器として用いている測定機器は次のものである。

- ・超音波風速温度計 (KAIJO DA-600-3TV)  
風速3成分 (X,Y,W), 気温 (Ts)
- ・赤外線湿度変動計 (KAIJO AH-300)  
比湿変動( $q'$ ), 気温 ( $T_{ref}$ )  
相対湿度 (RH<sub>ref</sub>), 受光強度 (I)
- ・船体動揺検出器 (関東航空 KS00AL001)  
加速度3成分, 回転角速度3成分  
(Applied Signal Inc., QA700-020 × 3,  
Systron Donner, QRS11-0050-100 × 3)
- ・傾斜計 (Applied Geomechanics MD-900-T)  
Pitching, Rolling

観測機器のうち、超音波風速温度計、赤外線湿度計、および船体動揺計測のための傾斜計、加速度計、角速度計は、図1および図2に示す

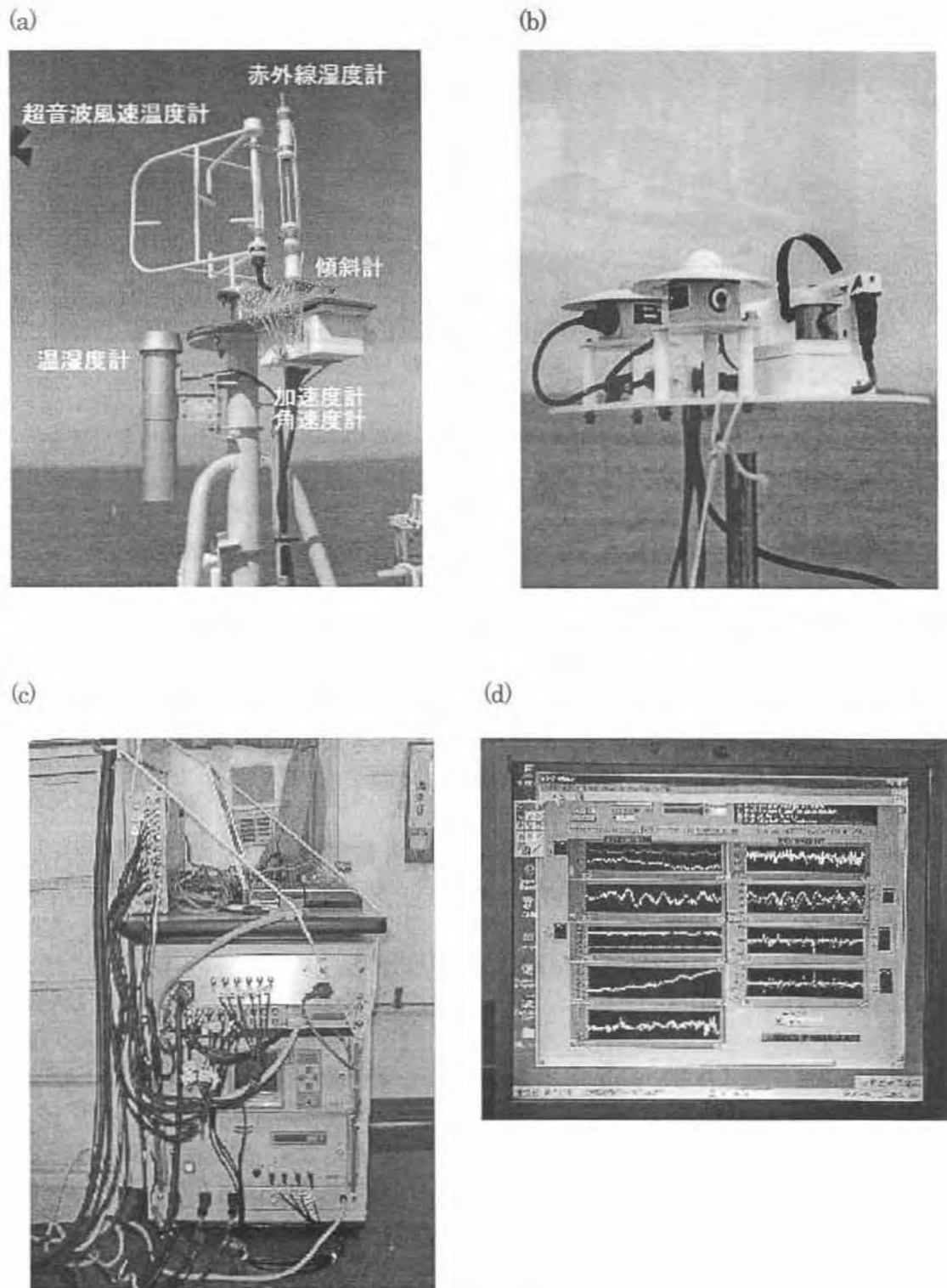


図 2 (a) 前部マスト頂部の乱流計測器  
 (b) 放射観測用機器 (短波放射、長波放射)  
 (c) データ変換器ラックと収録用 PC  
 (d) データ収録用 PC のモニタ画面

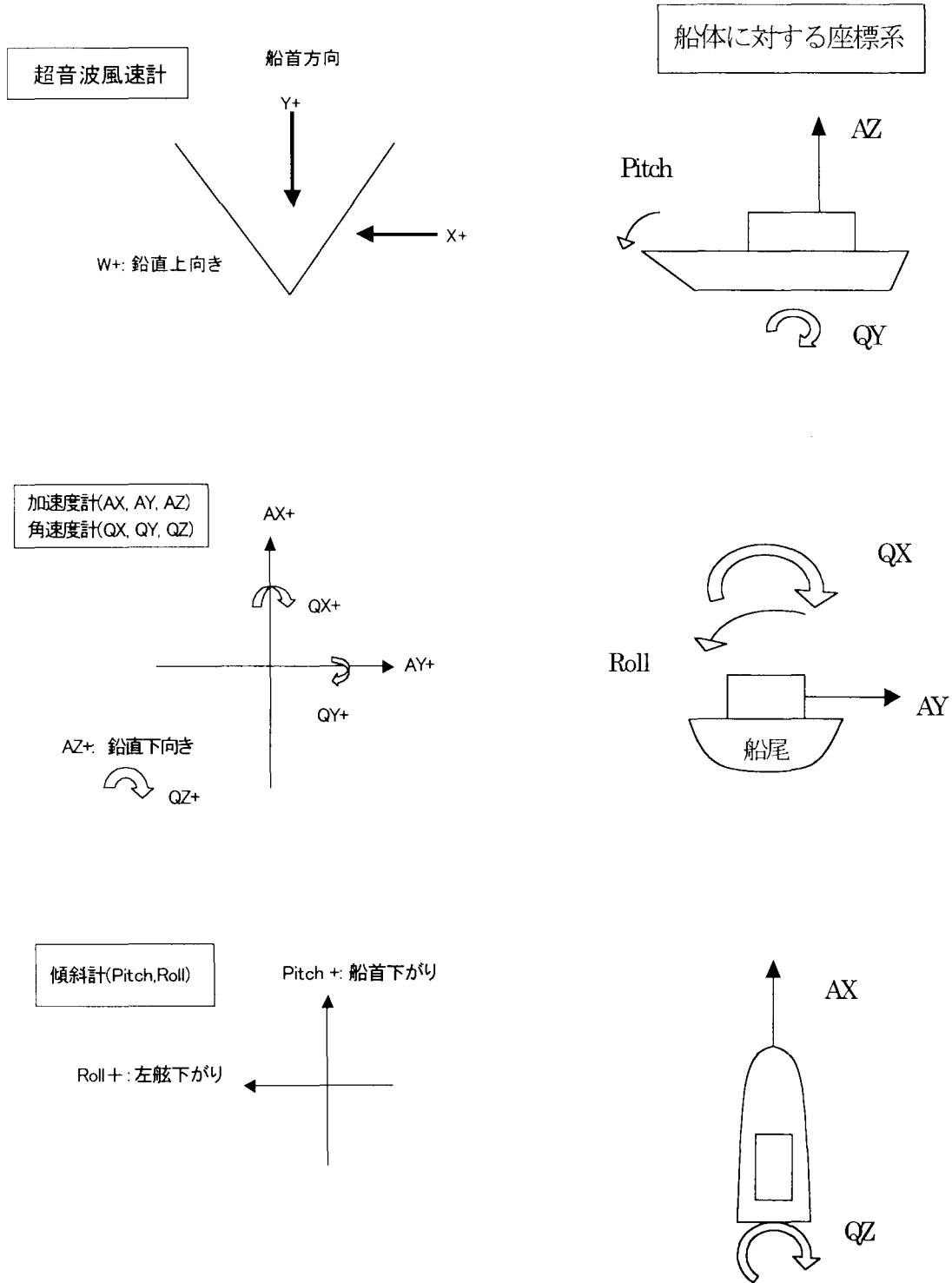


図3 観測機器の座標系

ように「みらい」の前方部分にある高さ約 24 mの前部マストの最上部に設置された。また、同じマストに海面熱収支観測には不可欠な放射観測用機器 (図 2(b)) も設置されている。観測機器を、前部マストの最上部のような、船の前の方で高い所に設置したのは船体の熱的・力学的影響を避けるためである。

これら計測器の座標系は図 3 のように定義する。また、システム全体のブロックダイアグラムを図 4 に示す。

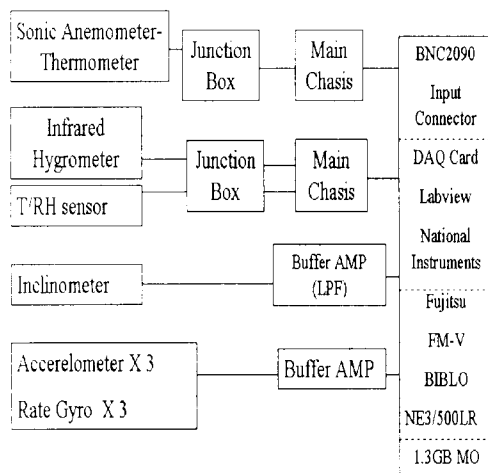


図 4 観測データブロック図

測定項目は表 1 に示すように 16 チャンネルあり、CH0~7 までの気象データと CH8~15 までの動揺データの大きく 2 つの要素に区別することが出来る。記録されたデータの一例として、これら 16 チャンネルについて 60 秒間の各時系列で示したものが図 5 である。

これらのデータは、データ記録装置として Windows パソコンに 0.1 秒間隔で取り込まれ 30 分間のデータを 1 つのファイルに保存していく。ファイルは、Binary で保存した場合、1 日で約 50MB の容量になる。データ記録のためのソフトは LabView システム (National Instruments) を使い、その場でリアルタイムにデータを見る事ができ、エラーなどのチェックも行うことが出来る (図 2(d))。

## V. 船体動揺補正の手順

II で述べたように船の上では波などの影響で

船体が傾くため、観測機器も傾いてしまい正確な値ではなくなってしまう。このため、風速各成分の観測値は傾いた角度分だけ座標変換する必要がある。この補正には傾斜計の値を用いる。さらに、船の動揺に伴って見かけの風速成分が風速計の値に混入してしまうため、みかけの風速成分を取り除く必要がある。

観測された風速ベクトルを  $V_0$ 、真の風速ベクトルを  $V$  とすると、補正式は次のように表される。

$$V = TV_0 + \Omega \times TR + V_s \quad (1)$$

$T$  は後に述べる傾斜補正の行列、 $\Omega$  は船体動揺の角速度ベクトル、 $R$  は船の重心に対する風速計センサーの位置ベクトル、 $V_s$  は船の速度ベクトルであり (2) 式の様になる。

$$V_s = V_{so} - \Omega \times Tr \quad (2)$$

$V_{so}$  は観測された船の速度ベクトル、 $r$  は加速度計の位置ベクトルである。(1) 式と (2) 式より最終的に以下のようにまとめられる。

$$V = TV_0 + \Omega \times T(R-r) + V_{so} \quad (3)$$

これまでの船上での乱流フラックスの観測 (Tsukamoto and Ishida, 1995 など) では、船の重心位置で測定された動揺成分を用いて補正を行ってきたために、船の重心と観測機器との距離や角度などが計算に必要となっていた。今回、観測機器と加速度計を同じ位置に設置することによって、風速計位置での加速度 3 成分を直接得ることができる。つまり (3) 式において  $R = r$  とすることができるので、(4) 式のように補正式を単純化して、加速度計からの値を時間積分して速度に変換することで、風速計の動揺成分を直接計算することができるようになる。

$$V = TV_0 + V_{so} \quad (4)$$

$$T = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \cos \phi \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \sin \phi & \cos \theta \sin \phi \end{pmatrix}$$

$$V_{so} = \int A dt \quad (5)$$

表 1 乱流変動量の測定項目

| チャンネル | 測定項目                         | 出力 (1Vあたり)        | Notes                             |
|-------|------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| 0     | SAT-X (水平風速横成分)<br>超音波風速温度計  | 10m/s             | 動揺補正が必要                           |
| 1     | SAT-Y (水平風速前後成分)<br>超音波風速温度計 | 10m/s             | 〃                                 |
| 2     | SAT-W (風速鉛直成分)<br>超音波風速温度計   | 10m/s             | 〃                                 |
| 3     | SAT-Ts (気温)<br>超音波風速温度計      | 50°C              | 顕熱フラックス算定の<br>ための変動量              |
| 4     | AH-Tref (気温)<br>赤外線湿度変動計     | 50°C              | 基準気温<br>(比湿変動較正用)                 |
| 5     | AH-RH_ref (相対湿度)<br>赤外線湿度変動計 | 100%              | 基準湿度<br>(比湿変動較正用)                 |
| 6     | AH-q' (比湿変動)<br>赤外線湿度変動計     | 5g/m <sup>3</sup> | 潜熱フラックス算定の<br>ための変動量              |
| 7     | AH-I (受光強度)<br>赤外線湿度変動計      | 100%              | q'の良否判定                           |
| 8     | Clino-Pitch (Pitch 角)<br>傾斜計 | 10deg             | 10Hz Low Pass Filter<br>135dB/oct |
| 9     | Clino-Roll (Roll 角)<br>傾斜計   | 10deg             | 〃                                 |
| 10    | Accel-AX (前後方向)<br>加速度計      | 0.5G              | 〃                                 |
| 11    | Accel-AY (横方向)<br>加速度計       | 0.5G              | 〃                                 |
| 12    | Accel-AZ (鉛直方向)<br>加速度計      | 0.5G<br>+1V bias  | 〃                                 |
| 13    | Omega-QX (X 軸周り)<br>角速度計     | 2.5deg/sec        | 〃                                 |
| 14    | Omega-QY (Y 軸周り)<br>角速度計     | 2.5deg/sec        | 〃                                 |
| 15    | Omega-QZ (Z 軸周り)<br>角速度計     | 2.5deg/sec        | 〃                                 |

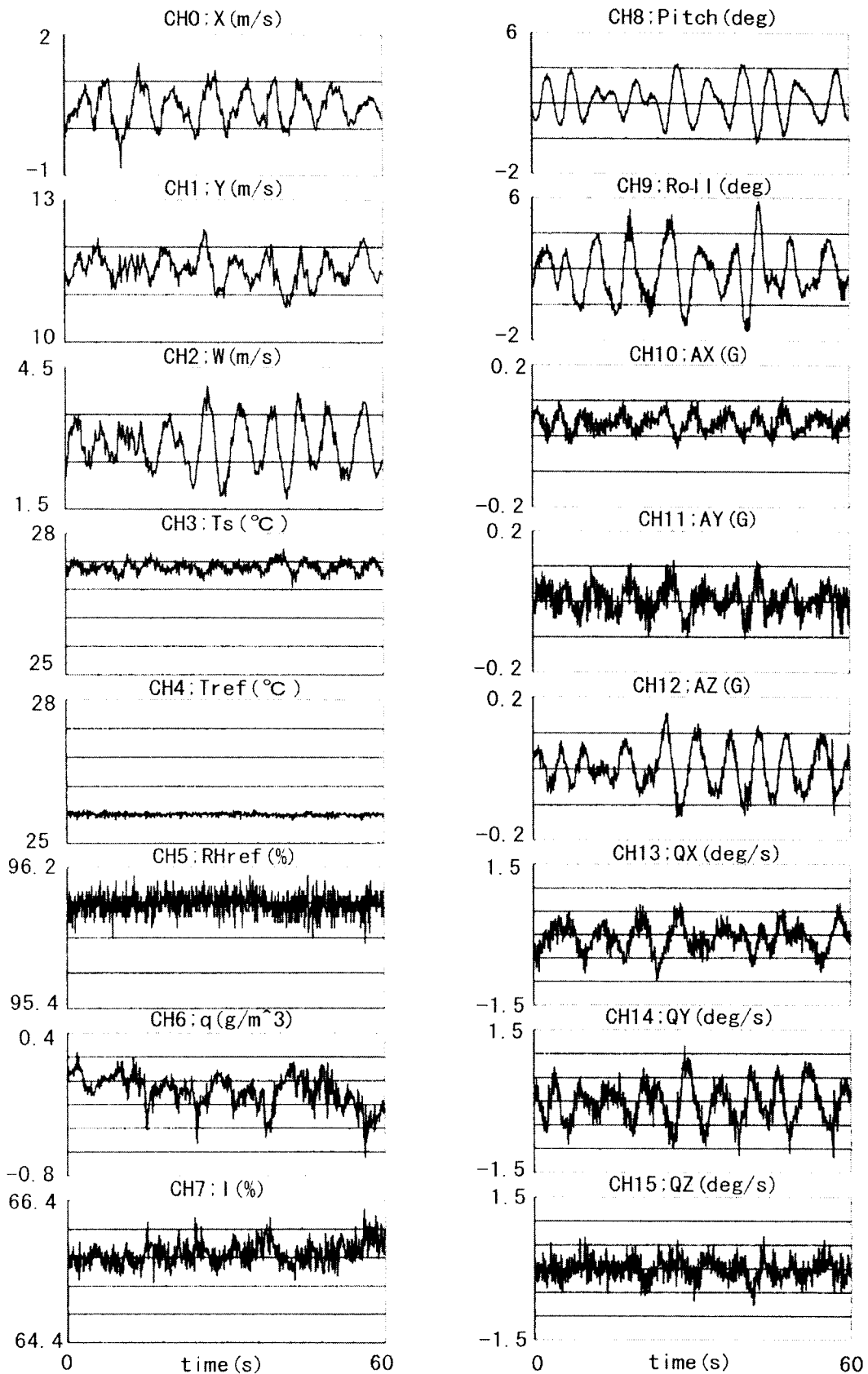


図5 60秒間の時系列で表した16チャンネルの生データの一例(表1参照)



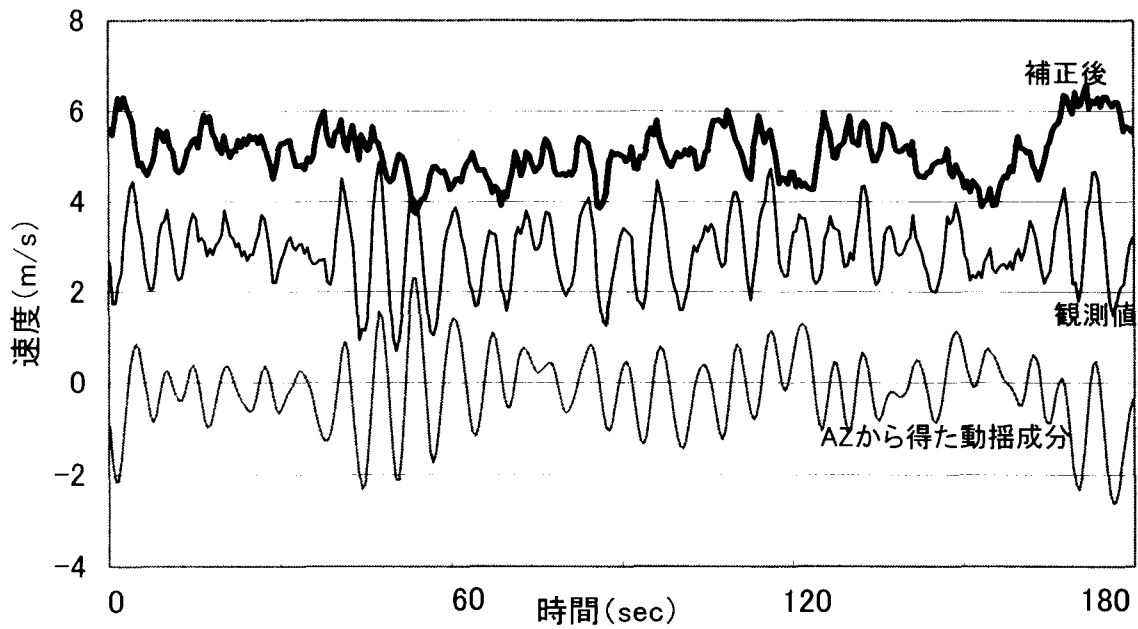


図7 鉛直風速成分 W の補正 (180 秒間、見やすくするため 0 の値はずらしてある)

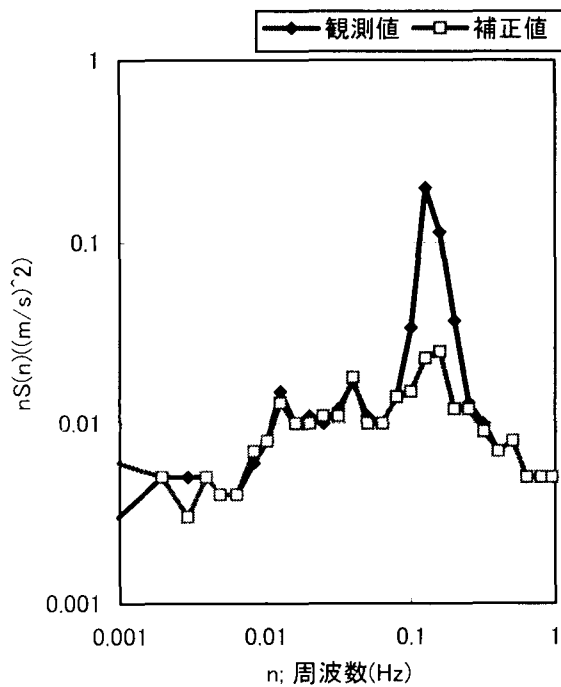


図8 鉛直風速成分 W のパワースペクトル

(4)式の第一項目が傾斜補正で、第二項目が動揺補正である。これら一連の補正手順を図6に示す。

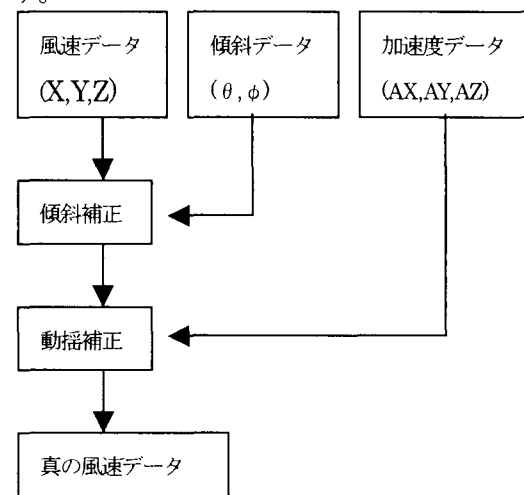


図6 補正手順のブロック図

風速鉛直方向 W について、この補正結果を時系列で示したものが図7である。3分間のデータを表示しており、観測された風速データから加速度 AZ を用い計算された動揺成分を取り除くことによって、補正後の風速データの振幅

が小さくなっているのが見て取れる。

このような補正が船の揺れに対して正しく補正されているか見るために、風速鉛直方向のパワースペクトルをとってみたのが図8となっている。観測値と補正值を比較してみると観測値は周波数0.1 Hz付近にピークがある。このピークは、船の揺れの周期が10秒程度であるということに合致しており、観測値の最大のピークは船の動揺によるものであるということになる。補正值の方はこの周波数0.1Hzのピークの値が小さくなっており、合理的に船の揺れの成分が取り除かれて補正が効いていることがわかる

## VI. MR00-K04 航海

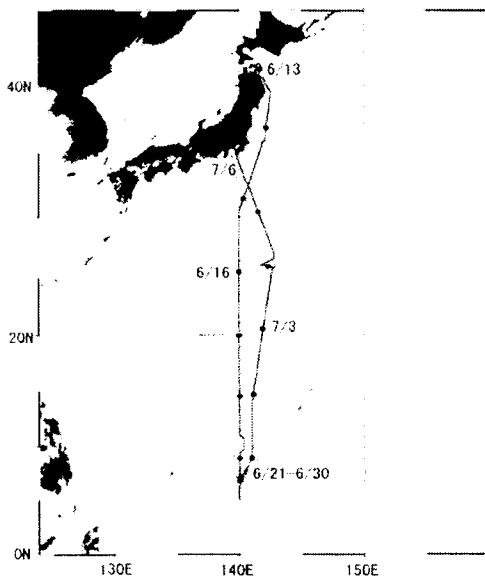


図9 MR00-K04の航路図

今回の観測を行った「みらい」のクルーズ(MR00-K04)は、2000年6月13日に青森県むつ市関根浜港を出航し、140E上を5N付近まで観測を行いながら、まっすぐ南下した。6月19日～6月30日まで5N,140Eの定点で集中観測を行い、帰りも7月6日に横須賀港に入港する前まで観測は行われた。集中観測期間中は、乱流フラックス観測、ラジオゾンデ観測、CTD採水とを1セットとして繰り返され、乱流フラックス観測は3時間毎に約1時間継続して行われた。乱流フラックス観測中は、船体の熱的、力学的影響を避けるため3時間毎に約3～7

ノットで風上方向へ走らせている。図10は航海中の一般気象要素を示してあり上から気温・水温、相対湿度・比湿、風速・風向、日射量、降水量となっている。気温は赤道域にはいると28度前後、湿度70～90%であった。集中観測時も含め、これらの全航海期間にわたって乱流観測データは連続的に得られており、この中から不良データの品質管理を行うことによって合理的なデータセットを作ることが出来る。

## VII. 渦相関法によるフラックスの評価

これまでの補正された3成分の風速データを用い渦相関法でフラックスを計算する。渦相関法によるフラックスは次の式で計算する。

$$\text{運動量} \quad \tau = -\rho \overline{w'u'}$$

$$\text{顕熱} \quad Q_H = C_p \rho \overline{w'T'}$$

$$\text{潜熱} \quad Q_E = L_E \rho \overline{w'q'}$$

$\rho$  : 空気密度  $C_p$  : 定圧比熱  $L_E$  : 蒸発の潜熱  
 $u$  : 風速の風向方向成分  $w$  : 風速の鉛直成分  
 $T$  : 気温  $q$  : 比湿

渦相関法によるフラックスの計算は航海中に得られた連続記録から、10分毎に切り出して時系列の直線的なトレンドを除いた後に、上に述べたような処理をオフラインで行った。図11はこのようにして求めた10分毎の顕熱と潜熱のフラックスについて6月13日の出航から6月31日に定点を離れるまでの全期間の時系列を示す。それぞれ上段の図が計算された生のフラックス値を示すが、これには多くのノイズデータが含まれているのがわかる。

この原因としては、大別すると①風速計や温度計・湿度計あるいは動揺計に含まれるノイズ、②信号に何らかの長周期成分があり、これがcovarianceを統計的に不安定にする、という2つになる。まず、顕熱フラックスとして①の可能性に当たるものとして風速鉛直成分、 $w$ と温度変動、 $T_s$ についてその10分間についての標準偏差を図11の下2段に示した。これを見ると時折大きな標準偏差の値を示しており、これらの値が最上段の顕熱フラックスに影響してい

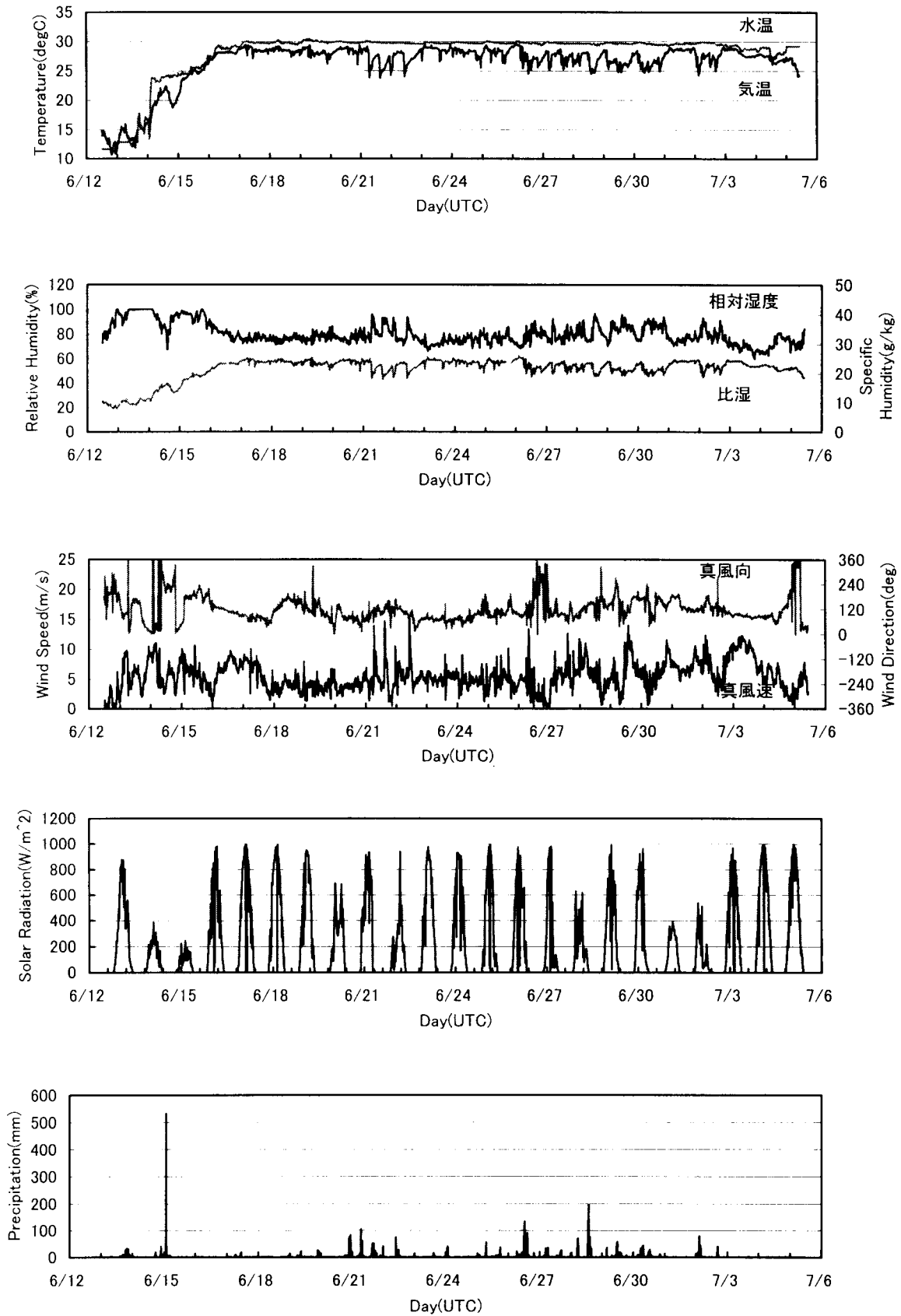
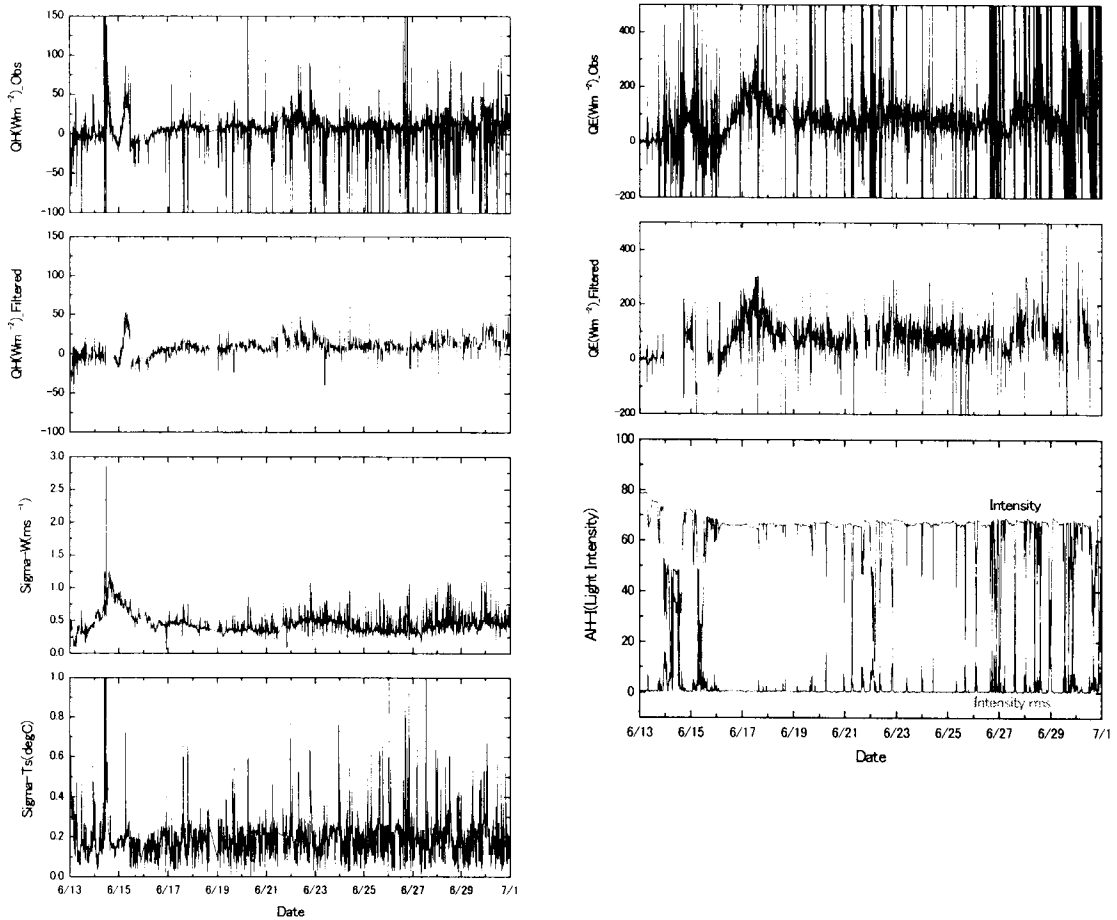


図 10 航海中の一般気象要素  
 (上から気温・水温、相对湿度・比湿、風向・風速、日射量、降水量)



第11図(a) 10分毎に得られた顕熱フラックスの不良データ判定の一例

上段：計算された生データ

中段：下段に示された風速と気温の不良部分を除去することによって得られた顕熱フラックスの時系列

(b) 10分毎に得られた潜熱フラックスの不良データ判定の一例

上段：計算された生データ

中段：下段に示された赤外線湿度計の受光強度の不良部分を除去することによって得られた潜熱フラックスの時系列

ると考えられる。そこで、この2つの標準偏差の値にある基準を持ってノイズレベルと定め、それに該当する顕熱フラックスを欠測として扱ったものが、図の2段目に示してある。これによって多くの不良データが除去できているのがわかる。一方、右側に示した潜熱フラックスについても同様に考えて、下段に示した赤外線湿度計の信号強度がある程度以上に下がった場合、あるいはその信号強度の標準偏差がある臨界値を越えた場合に欠測として扱うと、中断に示したようにかなりの不良データを取り除くことが

できる。これらの手法は、まだ不完全なものであるが、経験的に不良データの判定基準を積み上げてゆくことで、データの品質管理を進めてゆくことができる。今回の予備的な計算では顕熱フラックスは平均的には  $20\text{Wm}^{-2}$  程度、潜熱フラックスは  $100\text{Wm}^{-2}$  程度になる。

## VIII. まとめ

船舶を用いて海面上での乱流フラックスを得るために、超音波風速温度計と赤外線湿度計を用いた渦相関法を適用した。その場合に船体の

動揺に伴う見かけの風速成分や傾斜の補正を行う手法について、従来の方法を改良して動揺検出器を風速計と同じ位置に設置することにより、補正式を単純化し精度の向上を図った。また、このシステムを用いて海洋科学技術センターの観測船「みらい」に常設の装置として設置することができるようになったので、すべての航海で広域にわたるフラックスの評価が自動的・連続的に行えるようになった。これらの連続的なデータから最適な品質管理を行うことで不良データを除く方法についてもここで述べた方法を発展させることで、合理的なものにまとめることができる。

この渦相関法のデータにはこのような欠測を含む場合があるが、測定がうまく行われている期間については精度の良いデータとしてとりあげることができ、このデータを（精度的には劣るが）簡便で欠測の少ないソバルク法のデータと統合することによって、合理的なフラックスを連続的に作成することができるようになる。また、ここで行ったオフラインによるデータ処理を real-time, on-line 処理として行う手法に切り替えてゆくことで、誰でも手軽に使える自動観測システムに発展させてゆく必要がある。

#### 謝辞

「みらい」での航海において一緒に乱流フラックス観測に携わっていただいた竹見哲也博士（大阪大学）、中西彩子氏（岡山大学）に感謝の意を表します。そして、海洋地球観測船「みらい」の橋本孝亮船長はじめ「みらい」の乗組員の方々、乗船研究員の方々に感謝いたします。また、乱流計測器には「地球観測フロンティア」のものを使用させていただきました。

#### 参考文献

Axford, D.N. (1968), On the accuracy of wind measurements using an inertial platform in an aircraft, and an example of a measurement of the vertical mesostructure of the atmosphere, *J. Applied Meteorol.*, 7, 645-666

Bradley, E. F., P.A. Coppin, and J.S. Godfrey (1991), Measurement of sensible and latent heat flux in the western tropical Pacific Ocean, *J. Geophys. Res.*, 96, 3375-3389

Edson, J.B., A.A. Hinton, K.E. Prada, J.E. Hare and C.W. Fairall (1998), Direct covariance flux estimate from mobile platform at sea, *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 15, 547-562

Fairall, C.W., A.B. White, J.B. Edson, and J.E. Hare (1997), Integrated shipboard measurement of the marine boundary layer, *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 14, 368-379

Friehe, C.A., W.J. Shaw, D.P. Rogers, K.L. Davidson, W.G. Large, S.A. Stage, G.H. Crescenti, S.J.S. Khalsa, G.K. Greenhut and F. Li (1991), Air-sea fluxes and surface layer turbulence around a sea surface temperature front, *J. Geophys. Res.*, 96, C5

Fujitani, T. (1981), Direct measurement of turbulent fluxes over the sea during AMTEX, *Papers Meteorology and Geophysics* Vol. 32, No. 3

Fujitani, T. (1985), Method of turbulent flux measurement on a ship by using a stable platform system, *Papers Meteorology and Geophysics* Vol. 36, No. 3

Fujitani, T. (1992), Turbulent Transport mechanism in the surface layer over the tropical ocean, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 70, 795-810

Mitsuta, Y. and T. Fujitani (1974), Direct measurement of turbulent fluxes on a cruising ship, *Boundary-Layer Meteorol.*, 6, 203-217

Takahashi, S., M. Nabekura, O. Tsukamoto, T. Iwata, T. Takemi and H. Ishida (2000), Sea surface heat flux evaluation by on-board technique over Tropical Western Pacific, Umi to Sora, 76, 79-84

Tsukamoto, O., E. Ohtaki, H. Ishida, M. Horiguchi, Y. Mitsuta (1990), On-board direct measurement of turbulent fluxes

over the open sea, *J.Meteorol.Soc.Japan*,  
68,203-211

Tsukamoto,O., H.Ishida and Y.Mitsuta(1995),  
Surface energy balance measurements  
around Ocean Weather Station-T during  
OMLET/WCRP, *J.Meteorol.Soc.Japan*, 73,  
13-23.

Tsukamoto,O., H. Ishida(1995), Turbulent  
flux measurements and energy budget  
analysis over the Equatorial Pacific during  
TOGA-COARE IOP, *J.Meteorol.Soc.Japan*,  
73,557-568

塚本 修(2001), 地表面フラックス測定法, 気  
象研究ノート,199号,日本気象学会 (印刷中)