

6. DMSP-SSM/I データによるトンレサップとメコンデルタの 1997 –1999 年洪水の観測

6. 1 概要

東南アジアのインドシナ半島東部を流れているアジア有数の大河メコン川(Mekong River)は、チベットの奥地から中国、ラオス、カンボジア、ベトナムとおよそ 4,000km にわたって流れて南シナ海に注いでいる。ベトナム南部に広がるメコン川下流のメコンデルタと、カンボジアのほぼ中央を流れるメコン川支流のトンレサップ川にあるトンレサップ湖 (Tonle Sap Lake)の一带は、洪水と干ばつの繰り返しの結果、土地が肥沃になり、生産性の高い農地となっている。

雨季は5月初旬から始まり、10月の終わりまで続く。乾季は11月から4月の終わりまで続く。このサイクルはモンスーンの活動と同期している。

4月の終わりに、雲はインドシナ半島の山々の上に出現し始め、間もなく完全に雲に覆われてしまい、宇宙からの陸の観測を遮断してしまう。5月中旬から10月中旬までは、どの光学センサも雲の下を陸を見ることがほとんどできない。しかし、マイクロ波センサは、雲の影響を受けにくく昼夜ともに観測可能なので、この季節においても洪水の様子を効果的に観測できる。そこで、米国防省気象衛星搭載の DMSP-SSM/I センサデータレコード(Sensor Data Record ; SDR) (Hollinger など 1987)を用いて、トンレサップとメコンデルタ領域での湛水面積の年間サイクルを観測した (Tanaka et al. in printing)。

DMSP-SSM/I 37GHz 水平偏波 (Horizontal Polarization ; Hpol) の輝度温度 Tb データから算出した湛水面積と、米国海洋大気庁の極軌道気象衛星搭載可視熱赤外放射計 (National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite / Advanced Very High Resolution Radiometer ; NOAA/AVHRR) データから算出した湛水面積の相関係数は、0.97 から 0.99 であった。これは、DMSP-SSM/I による観測が、熱帯の領域で洪水のモニタリングに適用可能なことを示唆している。

また、37GHz Hpol データおよび垂直偏波 (Vertical Polarization ; Vpol) データの放射率の違いを利用して湛水面積を算出し、この方法についても評価した。乾燥している季節に得られた湛水面積は、NOAA/AVHRR データから得られた面積より少し大きくなる傾向が見られ

た。

そこで、最初の方法を適用し、トンレサップとメコンデルタ領域での湛水面積の変化を、1997年5月から1999年4月まで見た。両方の領域における湛水面積の変化の様子はよく同期している。トンレサップとメコンデルタ領域のそれぞれの洪水干ばつサイクルは明らかに関連性が認められる。すなわち、洪水の始まりからピークまでは両者ともほぼ同時であり、洪水が収束し始める時期は下流のメコンデルタ領域がトンレサップ領域のおよそ1.5ヶ月後になっている。メコンデルタの湛水面積の変動は、メコンデルタの水位とよく同期している。

6. 2 トンレサップとメコンデルタ領域の水文地質学

トンレサップとメコンデルタ領域は、低地にあつて互いに影響を及ぼし合う密接な位置関係にある。雨季に入ってメコン川の上流に大雨が降ると、メコン川が増水し、一部はトンレサップ川を南から北へ逆流してトンレサップ湖に流れ込む。雨季のピークを過ぎてメコン川の水位が下がってくると、トンレサップ川は北から南へ流れ、湖が貯えた莫大な水量をメコン川へ戻す。このようにトンレサップ湖は自然の貯水湖として機能し、また、下流に流れる水量を調整する。この機能は、周辺の水田への水の安定供給を維持し、氾濫災害の程度を和らげてもいる。トンレサップ湖とメコン川のプノンペン (Phnom Penh) での水位変動は、この機能をよく説明している。また、メコンデルタは大部分が平らな低地なので、湛水面積も大変大きい。洪水になる場所は、主にメコン川河口付近である。洪水領域はメコンデルタの中間部から西部の海岸方面へ伸びている。南端の海岸に近いメコン川沿いの低地は、内陸よりよい排水特性を持っているので、氾濫しないのである。

トンレサップ湖の水深は、最も乾燥している時期には約1メートル、河川の氾濫が最大の時期には約14メートルまでと、大きく変化する(理科年表より)。トンレサップ湖の湖水面積は、乾季の約2500 km²から、洪水の季節には最高でその約8倍にまで拡大する。乾季と、どろどろの水の下でほとんどすべての陸が消えてしまう最も激しい雨期とでは、コントラストが激しい。DMSP-SSM/I データによる経時変化のモニタリングからは、この領域の水文地質学がどれほどユニークであるかがよく示される。

図 6.1(a)は、トンレサップ湖とメコンデルタの流域を含むモニタリングの対象エリアを示し

ている。この流域の湛水域は地形からもはっきりと認められる。なぜなら、この領域の水深測量学 (bathymetry) からいうと、広範囲に亘って土地が緩やかに平らで、単純に中心の湖に水が流れ落ちるからである。対象エリアの境界線は、米国空軍の ONC チャート、および米国 USGS 配布の 1 キロメートル分解能デジタル高度モデルを使って定義した。トンレサップ湖を含むトンレサップ領域の北側の境界は、高度差のあるコラート台地 (Khorat Plateau) との境とし、西側は連なる高地まで、南側はプノンペンまでとした。メコンデルタ領域は、トンレサップ領域の南側に接する、ホーチミン (Ho Chi Minh) やコンポンチャン (Kompong Cham) を含むいわゆるメコンデルター帯とした。図 6.1(b)に、インドシナ半島の地図を示す。

DMSP-SSM/I データから湛水面積を決定するためには、DMSP-SSM/I 画像の画素のサイズを定義しておく必要がある。1 ピクセルは緯度、経度それぞれ 0.2 度とした。すなわち、緯度 10 度近辺において 1 ピクセルは約 22km×22km のサイズである。DMSP-SSM/I 画像から算出したトンレサップ領域の面積は、約 95,000 km²、その南側に位置するメコンデルタ領域の面積は、約 68,000 km² である。

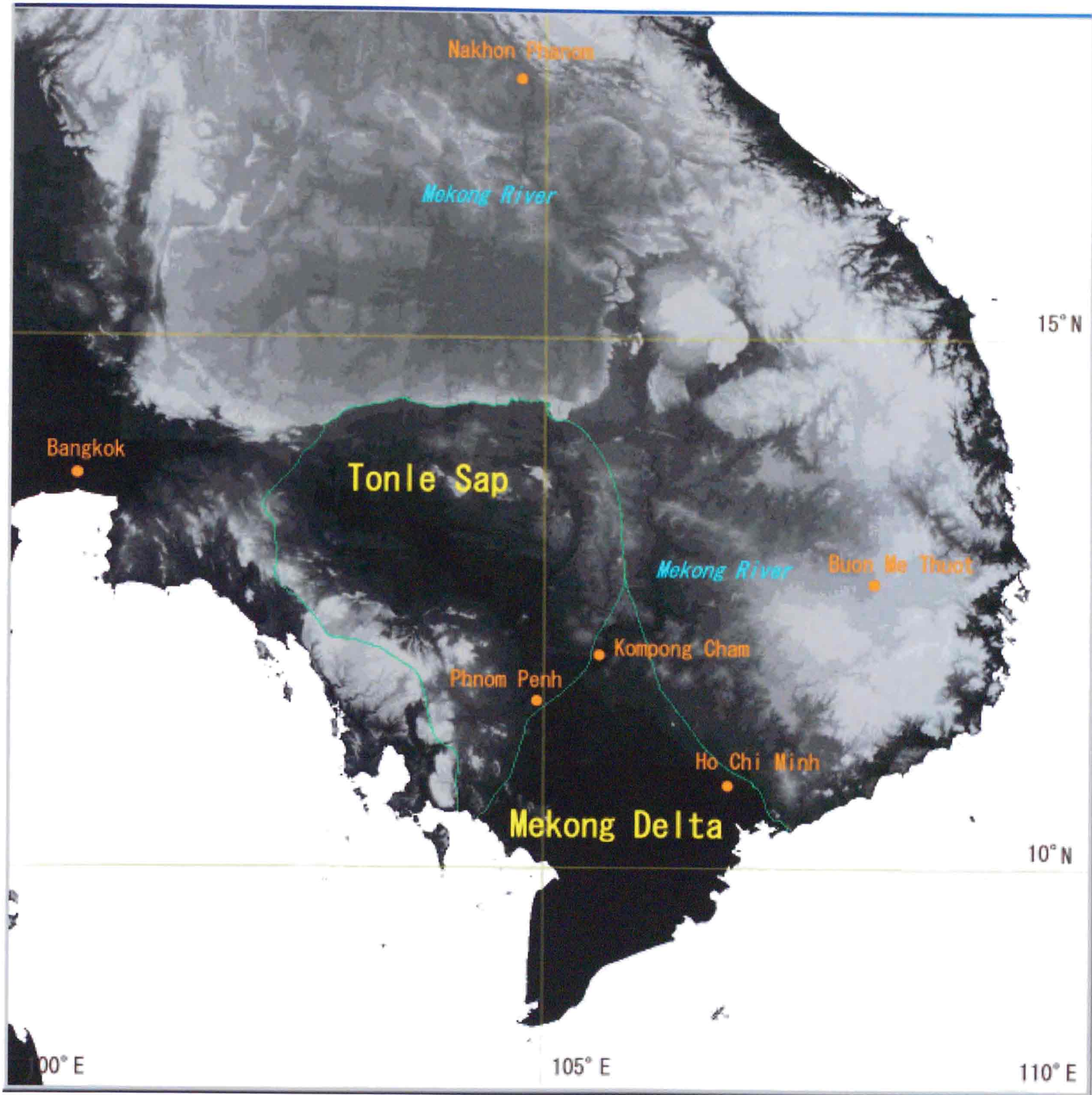


図6.1 (a) トンレサップとメコンデルタの研究対象エリアの高度図。
 黒は低高度で、白くなるほど高高度であることを示す。
 トンレサップ湖は、メコン川の支流に位置する。
 メコンデルタはメコン川河口の広大な低地である。



Base 505843 (A01868) 8-85

図6. 1 (b) インドシナ半島地図

([http://www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map collection/middle east and asia/Indochina rel85.jpg](http://www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map%20collection/middle%20east%20and%20asia/Indochina%20rel85.jpg)

より)

6. 3 単一チャネルデータを用いた湛水面積率の推定

6. 3. 1 使用する周波数帯と偏波の検討

まず、どの周波数帯データが最適かを見極めることが重要である。EFOVはこの決定のための主要な要素である。19GHzの空間分解能は、約69km×43kmとかなり大きいので、詳細さに欠ける。37GHzでは約37km×28kmであり、19GHzよりは細かく湛水面積を算出することができる。ただし、氷粒からなる雲はどのマイクロ波帯でも透過するので影響が無いのだが、水粒からなる雲は37GHzの方が19GHzより影響を受けやすいという難点がある。そこで、37GHz帯で、極力水雲の影響の無いシーンを選ぶことにした。

次に、どちらの偏波が、土あるいは植物に覆われた陸地における湛水比率の違いをよく抽出できるかが重要である。ここでは、水と陸の放射率の違いが水平偏波でより大きくなるので、水平偏波を選んだ。

3番目に、異なる周波数帯から異なる推定結果を得た場合には、大気の影響を与えていると考えられる。これは、そもそもDMSP-SSM/Iの主要な目的が、雲を含む大気の状態を測定することであるから、当然である。DMSP-SSM/Iを用いた多くの研究が、大気分野で成されている。中国の洪水観測の論文(Tanaka et al. 2000)では、異なる周波数帯データを利用する場合の問題を提起した。なぜなら、2周波数帯のEFOVは、物理量を求めるためには同じ空間分解能である必要があったからである。従って、空間分解能の調整のためにいくつかの仮定を使わざるを得なかった。

DMSP-SSM/Iは、偏波の違いを効果的に得るために、51.2度という大きな入射角が設定されている。水面の放射率は、大きな入射角においては、水平と垂直偏波とで非常に大きく異なる(Stogryn 1972、Ulaby et al. 1981)。

以上より、まず最初の選択としては、37GHz水平偏波のデータから湛水面積率を求めることにした。

6. 3. 2 観察時間帯の検討

雨季の終わりにあたる1997年9月23日から10月17日に取得されたDMSP-SSM/Iと

NOAA/AVHRR の複数データを使って、湛水面積率推定方法に關与する各種パラメータのうち、陸地及び水面温度の年単位、日単位の周期的な変動について考察した。

年単位の温度変動による誤差は、洪水領域の変動を頻繁に観測することにより解決できる。

日単位の温度変動に対しては、対象エリア内のホーチミンで気温の変化を見てみた。すると、最高気温は 30°C 前後、最低気温は 25°C 前後であり、1 日の間に 5°C 程度は変化があった。陸地及び水面の温度は、この気温の変動に連動する。すなわち、1 日の色々な時間帯のデータを用いて湛水面積率を推定する場合、5°C 程度の気温変動分の誤差を含んでしまうと考えられる。

DMSP-SSM/I は、現在 4 つの衛星が異なるローカル太陽時間で運用されており、現地時間でおよそ午前 5 時、午前 7 時、午後 5 時、および午後 9 時にそれぞれ F-13、F-14、F-11、および F-10 の 4 つの DMSP 衛星がデータを取得している。陸と水表面の温度は、先に述べたように、時間帯によって日変化がある。朝と昼では表面温度が異なるので、両方の時間帯に取得したデータを一緒に解析する場合は、この違いによる誤差を考えなければならなくなる。

その煩雑さを避けるために、午前 7 時の観察時間帯を選んだ。この熱帯地方では午前 7 時頃が、ちょうど日の出時刻であって、地表面の温度が相対的に安定していることが期待されるからである。さらに、この地域は植物に覆われているところが多いので、朝の陸地の温度上昇はゆっくりであることが期待され、観測には好条件である。

6. 3. 3 参照輝度温度の設定

次の問題は、式 (3.2) 中の高温側及び低温側の参照輝度温度を具体的に幾らに設定するか、ということである。

図 6.2 に、参照輝度温度を決定するために用いた、1997 年 5 月から 1999 年 4 月までの DMSP-SSM/I の 37GHz 水平偏波輝度温度画像を示す。第 6.3.2 項で説明したように、すべて F-14 衛星による午前 7 時頃の観測データである。なお、実際の解析には数日から半月間隔のデータを 68 シーン用いたが、ここには各月につき 1 データ、合計 24 シーンを表示してある。

このデータにおいて、トンレサップ湖の中心部、湖に隣接した陸、そして陸から離れた海水の 3 点における輝度温度の経時変化をグラフにしたのが、図 6.3 である。トンレサップ湖の

中心部は陸地と水面の面積比に応じてミックスした輝度温度になっていると考え、湖に隣接した陸は湛水率0%の場所の輝度温度、陸から離れた海水は湛水率100%の場所の輝度温度と考えた。

湖に隣接した陸（湛水率0%の場所）の輝度温度の平均と標準偏差は $278.39 \pm 5.3\text{K}$ 、陸から離れた海水（湛水率100%の場所）の輝度温度の平均と標準偏差は $179.12 \pm 17.9\text{K}$ であった。この統計値より、最終的に式(3.2)の T_bL と T_bW として、280K および 180K をそれぞれ選んだ。すると、式(3.2)は具体的には次式となる。

$$\%Water = 280 - T_bM \quad (6.1)$$

なお、 T_bW としての 180K は、10月から11月の湛水面積が最大になる頃に、湖と海の輝度温度がほぼ一致している値でもある。

6.4 偏波による違いを用いた湛水面積率の推定

水平及び垂直偏波の放射率の違いからも、EFOV内の湛水面積率を算出できる。第6.3.1項に述べたように空間分解能の観点から、37GHzの周波数帯を選ぶ事にした。ある観測データ地点における37GHz垂直偏波輝度温度 T_{b37v} と、37GHz水平偏波輝度温度 T_{b37h} の差分 ΔT_{37} を、

$$\Delta T_{37} = T_{b37v} - T_{b37h} \quad (6.2)$$

とすると、湛水面積率 $\%Water$ は、

$$\%Water = 100 \cdot \frac{\Delta T_{37} - \Delta T_{37L}}{\Delta T_{37W} - \Delta T_{37L}} \quad (6.3)$$

と書ける。ここで、添字のLは湛水面積率0%の陸地における参照輝度温度差、Wは湛水面積率100%の水面における参照輝度温度差であることを示す。

図6.4に、参照輝度温度差を決定するために用いた、1997年5月から1999年4月までのDMSP-SSM/Iの37GHz輝度温度偏波差画像を示す。なお、第6.3.2、6.3.3項で説明したのと同様に、実際の解析には数日から半月間隔のF-14衛星データを68シーン用いたが、ここには各月につき1データ、合計24シーンを表示してある。

このデータにおいて、トンレサップ湖の中心部、湖に隣接した陸、そして陸から離れた海水

の3点における輝度温度偏波差の経時変化をグラフにしたのが、図 6.5 である。 トンレサップ湖の中心部は陸地と水面の面積比に応じてミックスした輝度温度偏波差になっていると考え、湖に隣接した陸は湛水率0%の場所の輝度温度偏波差、陸から離れた海水は湛水率100%の場所の輝度温度偏波差と考えた。湖に隣接した陸（湛水率0%の場所）の輝度温度偏波差の平均と標準偏差は 4.44 ± 2.1 K、陸から離れた海水（湛水率100%の場所）の輝度温度偏波差の平均と標準偏差は 49.45 ± 9.6 Kであった。なお、海水の輝度温度偏波差は時々かけ離れて20K前後になっているものがあるが、これは海上で厚い雲の影響があったシーンである。この統計値より、最終的に式(6.2)の ΔT_{37L} と ΔT_{37W} として、5Kおよび50Kをそれぞれ選んだ。従って、式(6.3)は、もっと具体的には、次式となる。

$$\%Water = 2.2 \cdot (\Delta T_{37} - 5) \quad (6.4)$$

なお、 ΔT_{37W} としての50Kは、10月から11月の湛水面積が最大になる頃に、湖と海の輝度温度差がほぼ一致している値でもある。



図 6. 2 1997 年 5 月から 1999 年 4 月までの SSM/I37GHz 水平偏波輝度温度画像。洪水の季節にトレンサップとメコンデルタ周辺は輝度温度が周囲の陸地より相対的に低くなっている。

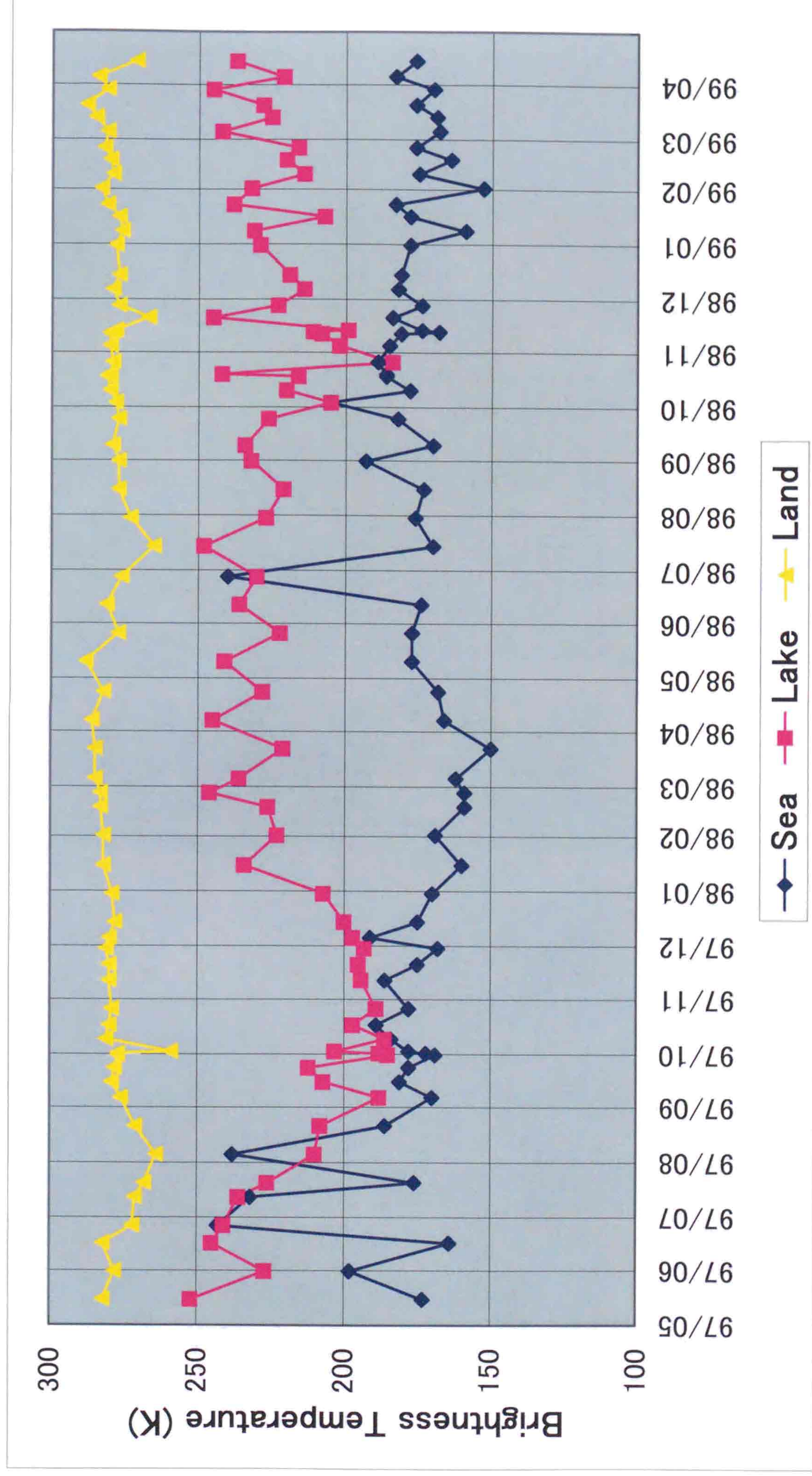


図6.3 陸地、湖、海のSSM/I37GHz水平偏波輝度温度の傾向図。100%水面であることに対応する低温側参照輝度温度として、海水の輝度温度平均値である180Kを選択した。180Kというのは、10月から11月の湛水面積が最大になる頃に湖と海の輝度温度がほぼ一致している値でもある。一方、水面が0%であることに対応する高温側参照輝度温度として、陸地の輝度温度平均値の280Kを選択した。

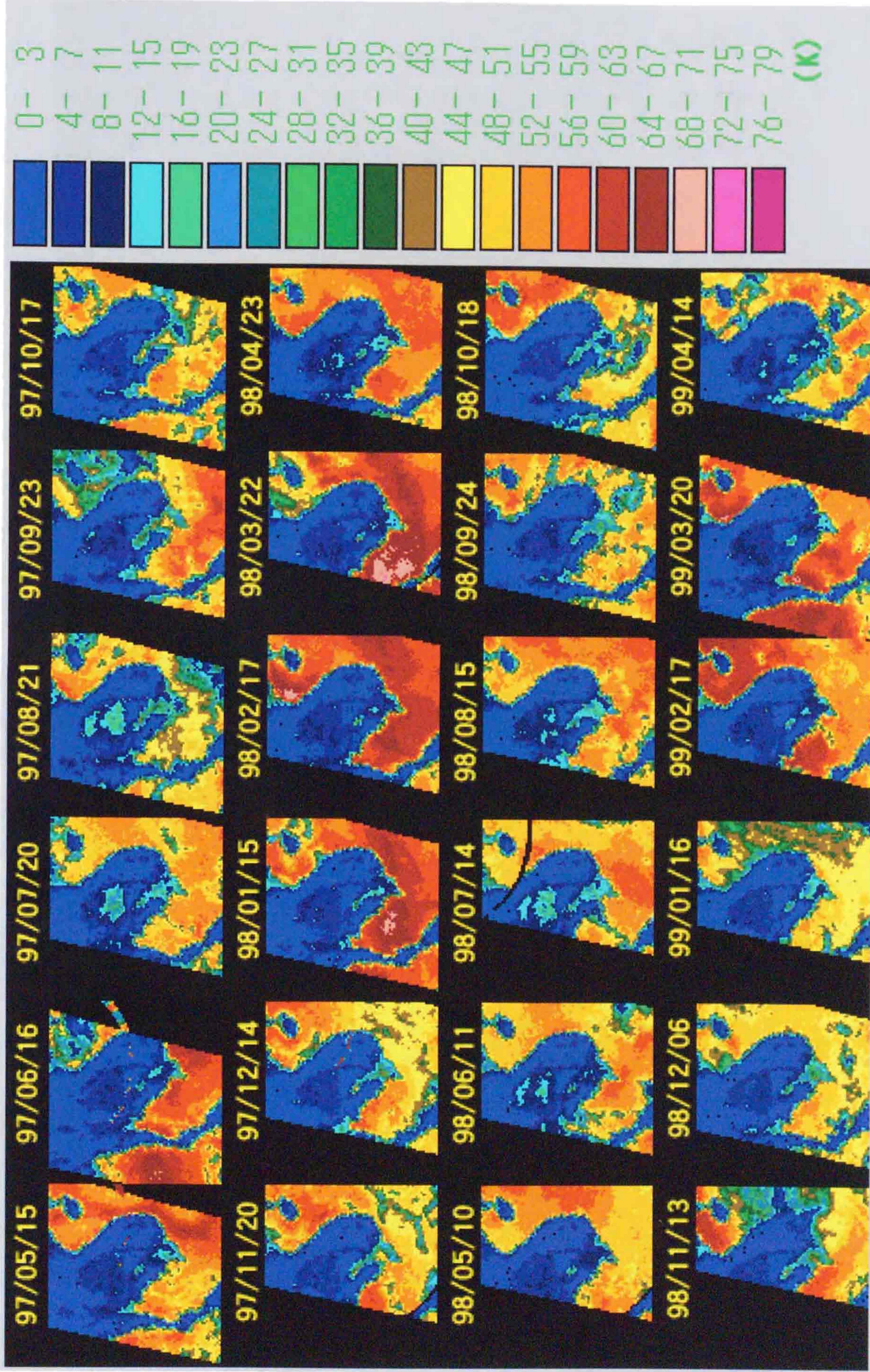


図6. 4 1997年5月から1999年4月までのSSM/I 37GHz輝度温度偏波差画像。陸地はほとんど偏波による輝度温度差が無く、洪水の季節にトレンサップとメコンデルタ周辺に輝度温度差が増大している。

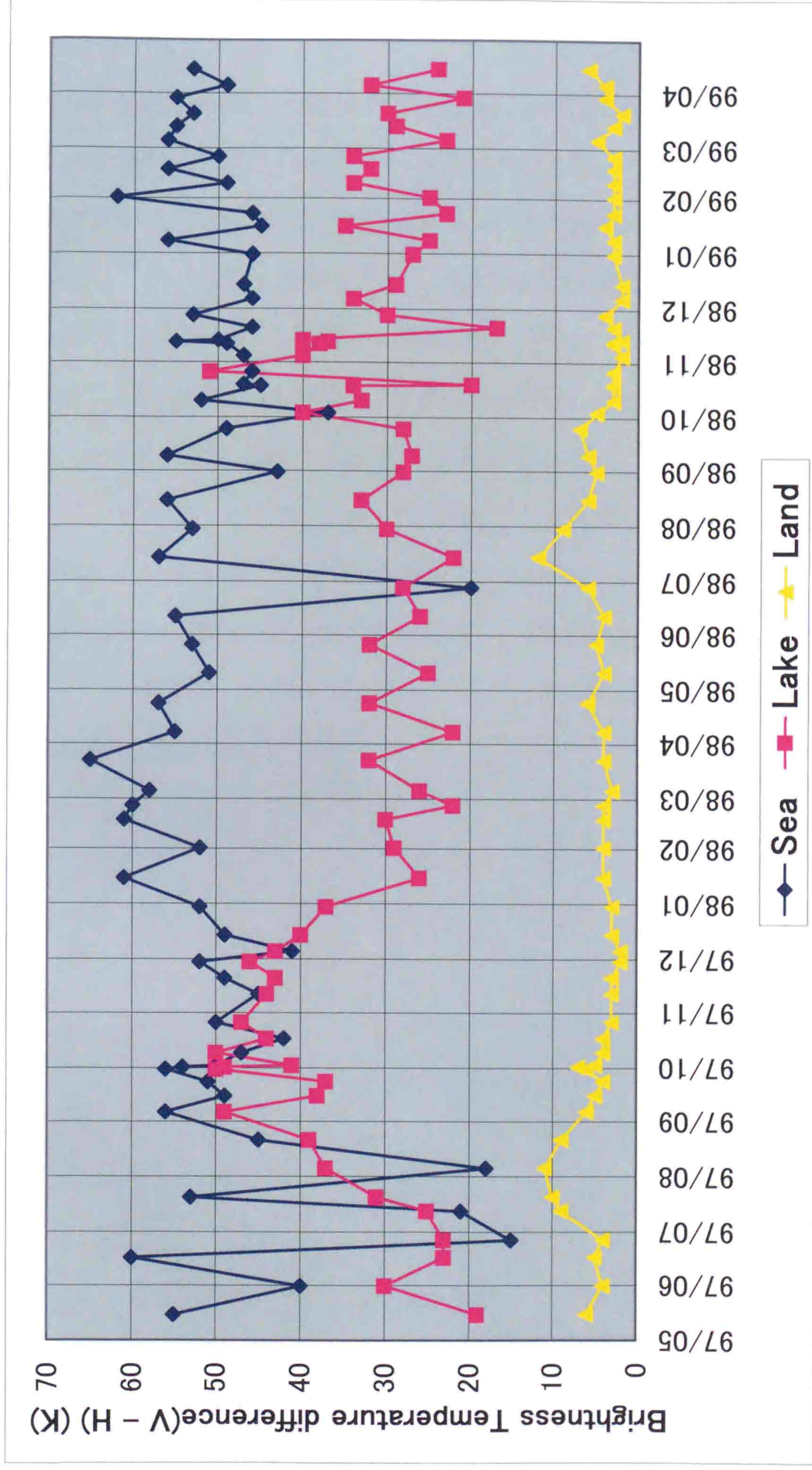


図6.5 陸地、湖、海のSSM/I37GHz輝度温度偏差の傾向図。100%水面であることに対応する参照輝度温度差として、海水の輝度温度差平均値である50Kを選択した。50Kというのは、10月から11月の湛水面積が最大になる頃に湖と海の輝度温度差がほぼ一致している値でもある。一方、水面が0%であることに対応する参照輝度温度差として、陸地の輝度温度差平均値の5Kを選択した。

6. 5 トルースデータとしての NOAA/AVHRR による湛水面積

DMSP-SSM/I データから算出したトンレサップ領域の湛水面積の精度を検討するために、NOAA/AVHRR データのチャンネル 1、2、および 3 を使って、1-Cell 分類法 (Single-Cell Signature Acquisition) (GENERAL ELECTRIC COMPANY 1975) により湛水面積を推定し、これを検証の根拠となるトルースデータとした。すなわち、明らかに湖面である個所をトレーニングエリアに選び、3チャンネルともそれと同じデータレベルの画素は水面であるとして抽出し、その面積を計算した。NOAA/AVHRR データは空間分解能が 1.1km なので、雲のかかっていないシーンを選べば、充分トルースデータとして利用できる。

図 6.6 に、雨季の NOAA/AVHRR 画像から水面 (濃紺色) を抽出した画像例を示す。図中、Alarm とあるのが、抽出した水面の画素数である。ここでは、緯度経度方向ともに 128 分の 1 度を 1 ピクセルとしてあるので、緯度方向の画素サイズが 0.87km、経度方向の画素サイズが平均して 0.85km、従って 1 画素は 0.74km^2 とした。

同様に、乾季の場合の例を図 6.7 に示す。DMSP-SSM/I とほぼ同じ時期に取得された雲の影響が少ない複数シーンから算出したところ、雨季の場合は $12,000\sim 19,000\text{ km}^2$ 、乾季の場合は $2,000\sim 3,000\text{ km}^2$ であった。

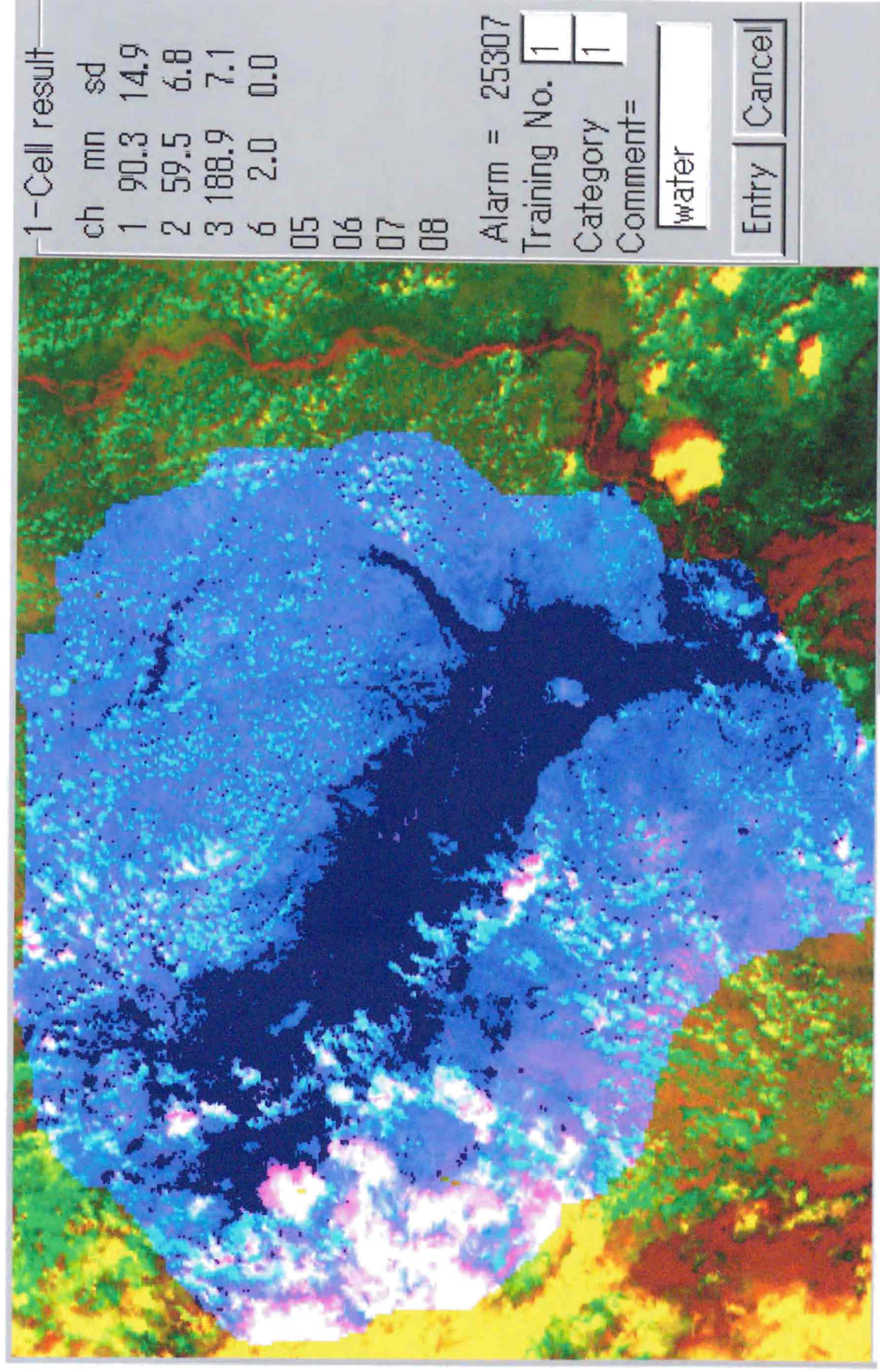


図6.6 雨季のトンレサップ領域における湛水域。1997年10月6日のNOAA/AVHRR画像において、濃紺で示したエリアが水に覆われている領域である。図中1、2、3チャンネルを用いた1-Cell分類で‘Alarm’とあるのは、濃紺の湛水域の画素数であり、25307画素は実面積約18,700km²に対応する。トンレサップ領域全体は、水色の範囲であり、マスキングデータここではチャンネル6に入っている。

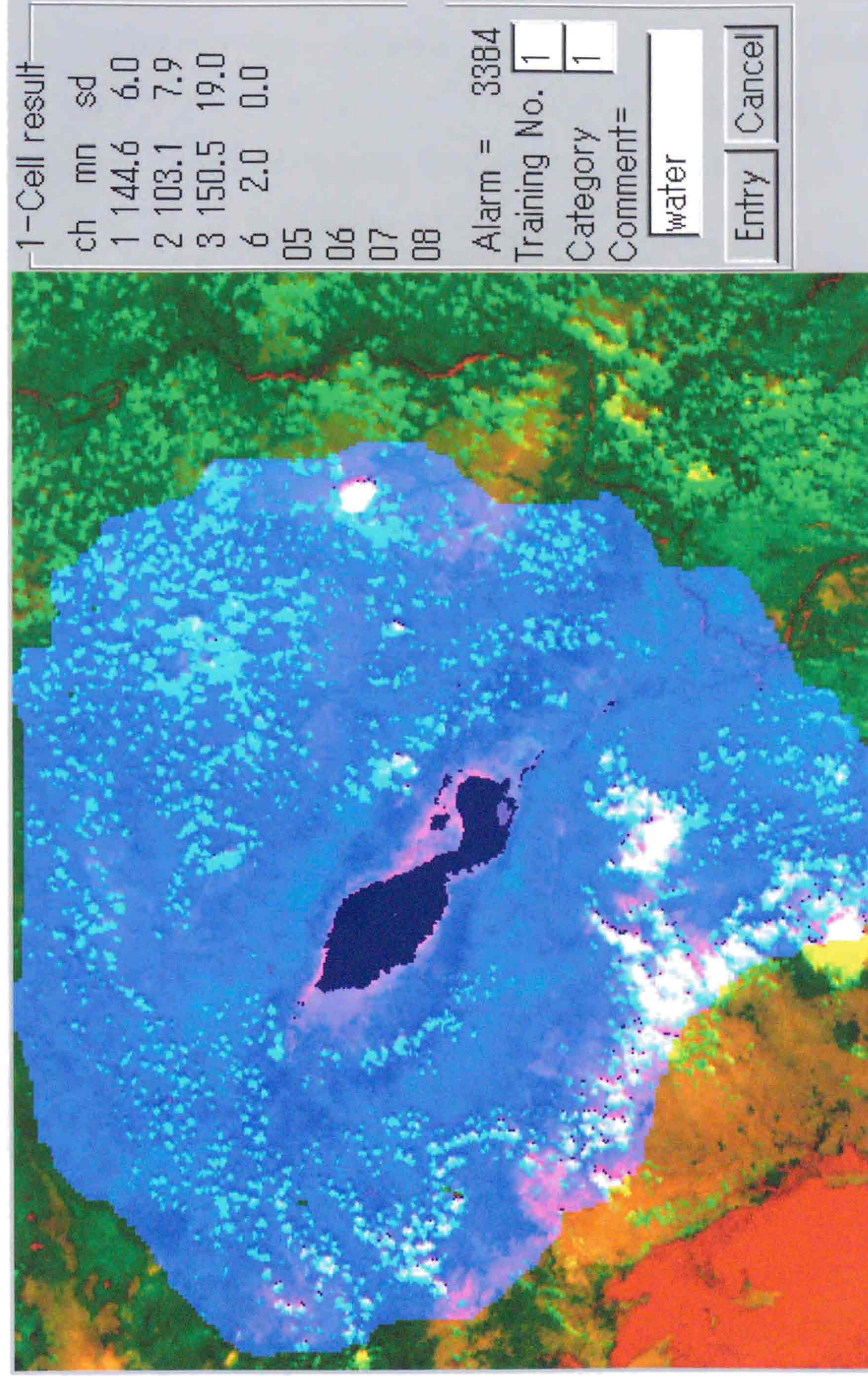


図6.7 乾季のトンレサップ領域における湛水域。1998年4月14日のNOAA/AVHRR画像において、第6.6図同様、濃紺で示したエリアが水に覆われている領域である。濃紺の湛水域の画素数3384は、実面積約2,500km²に対応する。

6. 6 DMSP-SSM/I と NOAA/AVHRR からの湛水面積の回帰分析

DMSP-SSM/I の 37GHz z 水平偏波輝度温度データから算出した湛水面積と、NOAA/AVHRR データから算出した湛水面積とを、時系列のグラフで示したのが図 6.8(a)である。NOAA/AVHRR データからの湛水面積 (= トルースデータ) を X、DMSP-SSM/I データからの湛水面積を Y として日時の近いデータを 1 ペアとして単回帰分析をしたところ、図 6.8(b) のようになり、相関係数は 0.99 で、回帰直線式は次のとおりであった。

$$Y = 0.998 \cdot X + 87.6 \quad (\text{km}^2) \quad (6.5)$$

回帰直線式から得られる推定値と、実際に DMSP-SSM/I データから算出した値との R.M.S. は、 $\pm 900 \text{km}^2$ 程度であった。しかし、DMSP-SSM/I 37GHz z の EFOV は $37 \text{km} \times 28 \text{km}$ なので、空間分解能はおよそ $1,000 \text{km}^2$ であることからすれば、誤差は 1 フットプリント程度であり、当然と言える。

同様に DMSP-SSM/I の 37GHz z 偏波差輝度温度データから算出した湛水面積と、NOAA/AVHRR データから算出した湛水面積とを、グラフで示したのが図 6.9(a)である。同様に単回帰分析をしたところ、図 6.9(b) のようになり、相関係数は 0.97 で、回帰直線式は次のとおりであった。

$$Y = 0.886 \cdot X + 1670 \quad (\text{km}^2) \quad (6.6)$$

回帰直線式から得られる推定値と、実際に DMSP-SSM/I データから算出した値との R.M.S. は、 $\pm 1,400 \text{km}^2$ 程度であった。精度は水平偏波輝度温度データのみから推定する方が良い。

ところで、図 6.8 及び図 6.9 には、雨季と乾季の移行時期に DMSP-SSM/I データと NOAA/AVHRR データのペアが無い。これは、DMSP-SSM/I データはコンスタントに利用できるが、NOAA/AVHRR データは雲の影響が大きくて、この解析に耐えうる状態のシーンがほとんど見つからなかったためである。逆に、雨雲の多い雨季にいくつかのデータペアを得られたことは、とても幸運であったと言える。

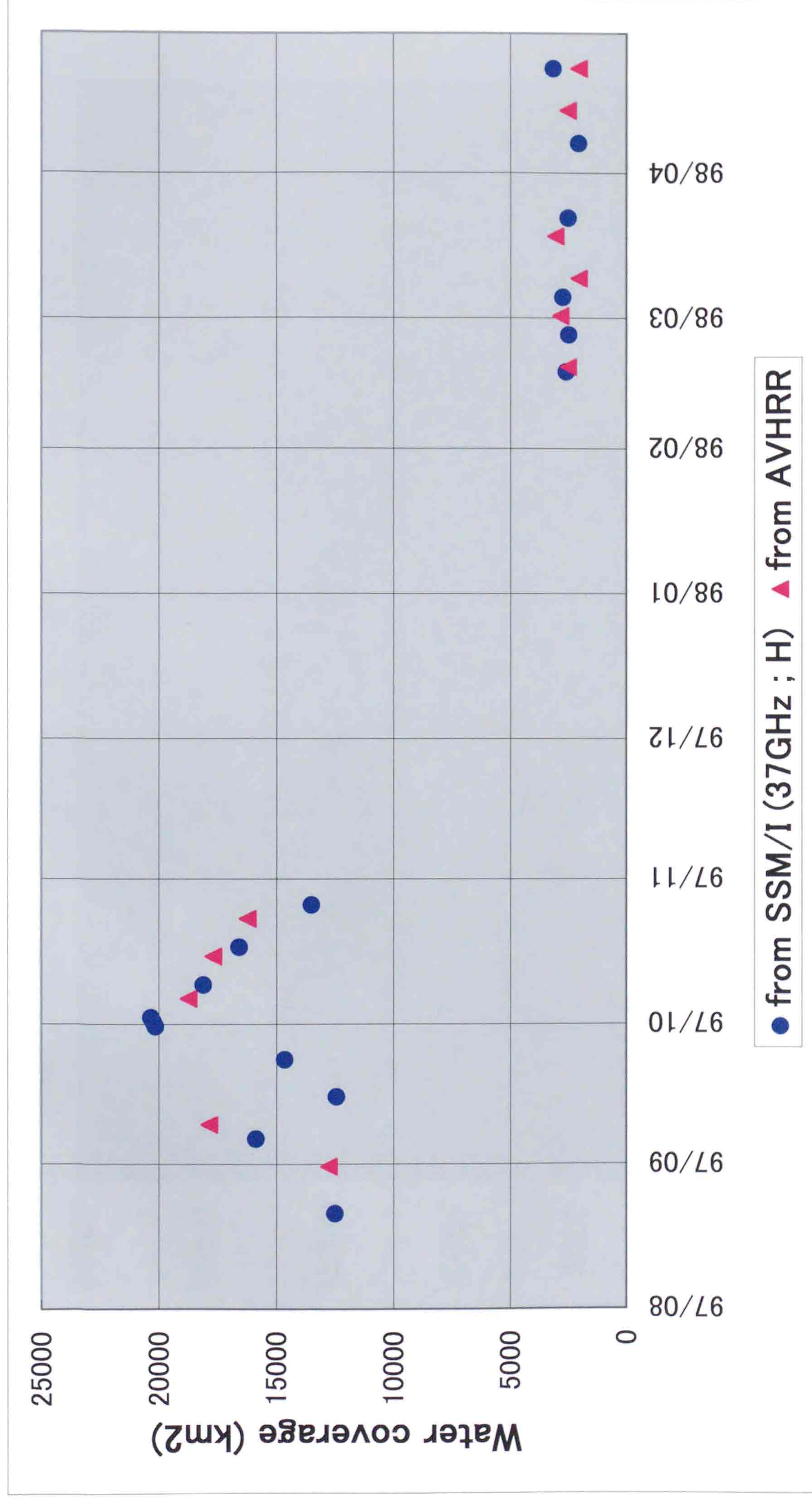


図6. 8 (a) トンレサップにおけるSSM/I 37GHz 水平偏波輝度温度データから算出した湛水面積と、AVHRR データから算出した湛水面積のグラフ

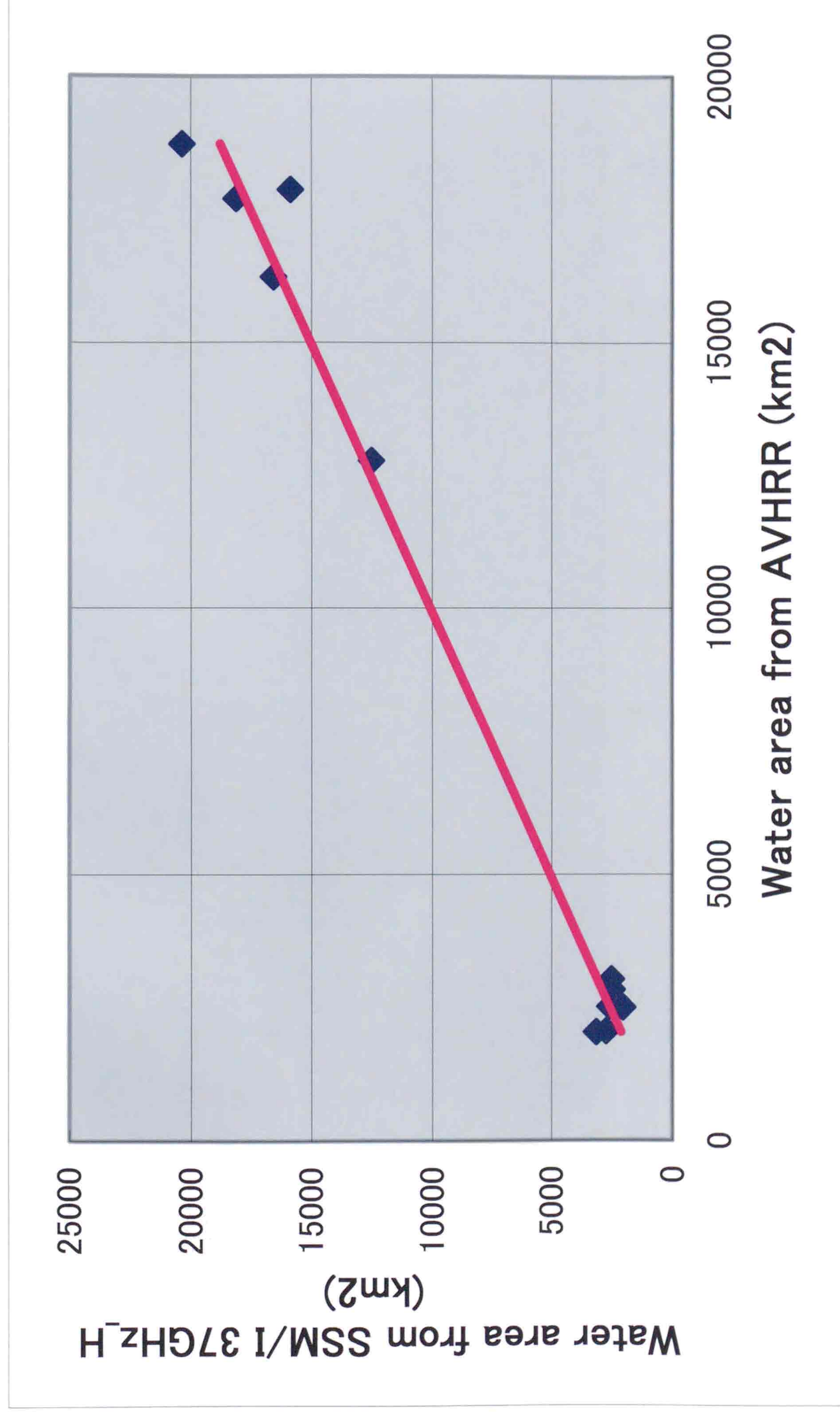


図6. 8 (b) トンレサップにおけるSSM/I 37GHz 水平偏波輝度温度データから算出した湛水面積と、AVHRR データから

算出した湛水面積の相関図

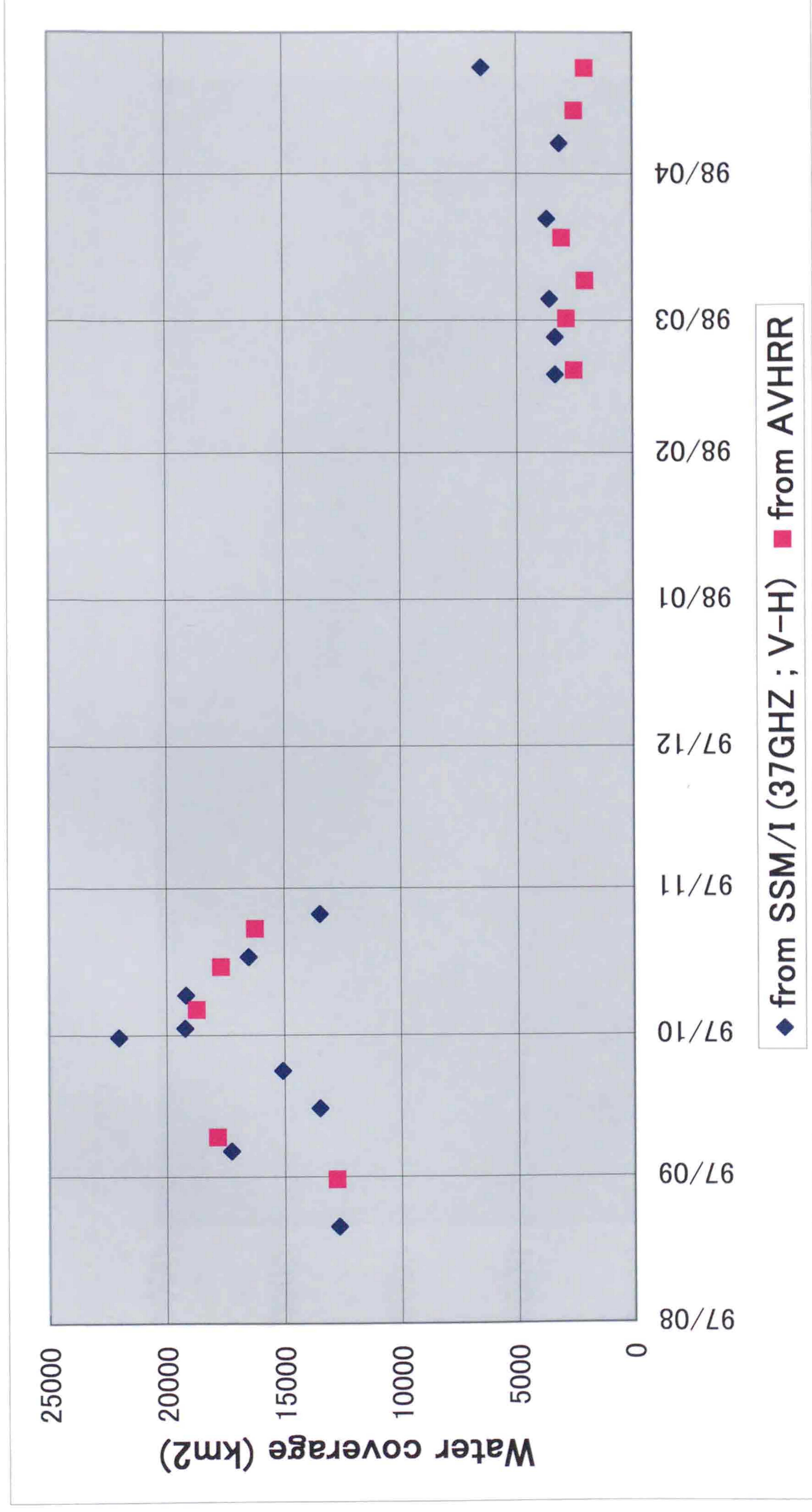


図6. 9 (a) トンレサップにおけるSSM/I 37GHz 輝度温度偏波差データから算出した湛水面積と、AVHRR データから算出した湛水面積のグラフ

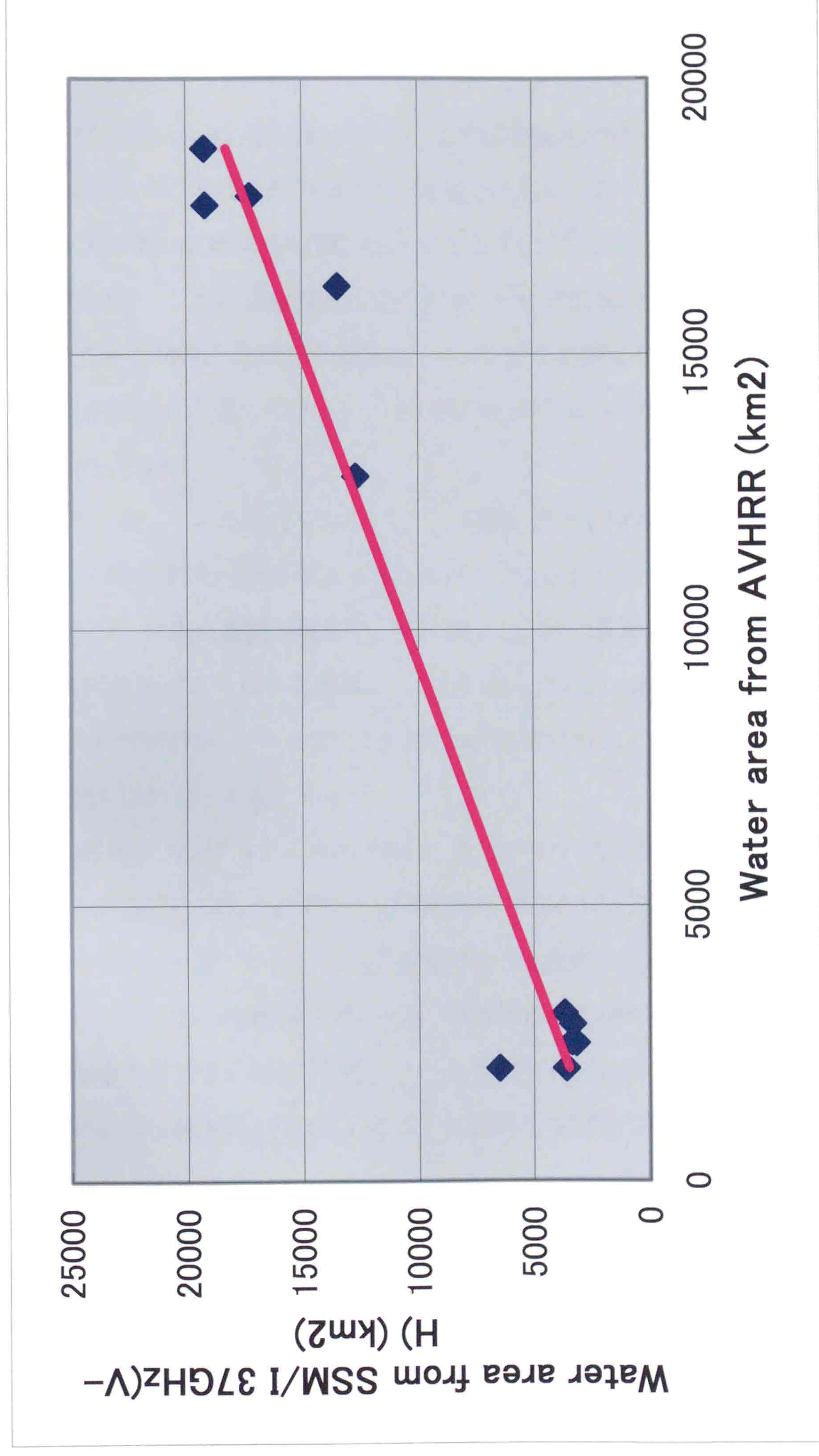


図6. 9 (b) トンレサップにおける SSM/I 37GHz 輝度温度偏波差データから算出した湛水面積と、AVHRR データから算出

した湛水面積の相関図

6. 7 1997年5月から1999年4月までの算出湛水面積の変動

1997年5月から1999年4月までのDMSPP-SSM/Iデータから2つの手法で算出した湛水面積のグラフを、トンレサップ領域について図6.10に、メコンデルタ領域について図6.11に示す。図6.12は、図6.10及び図6.11のうち、湛水面積推定精度がより高いと思われる37GHz水平偏波データのみから算出した方のグラフを重ねたものである。

トンレサップ領域の面積は95,000 km²であるのに対して、メコンデルタ領域の面積は68,000 km²である。しかし湛水面積は逆にメコンデルタ領域の方がトンレサップ領域より常に広い。1997年の雨季の最高湛水面積は、メコンデルタ領域で約30,000 km²、トンレサップ領域で約20,000 km²に達している。その後の乾季には、それぞれ5,000 km²、2,500 km²程度にまで減少している。

降水量は毎年一定しているわけではない。実際、図6.12の湛水面積の変動パターンは、1997年の雨季の降水量が、1998年より多かったことを示している。この領域は一般に、春(3月から5月)に湛水面積が最小で、夏に増大し、秋に最高レベルに達する。トンレサップ領域で20,000 km²にも達する最高レベルを記録したのは1997年9月30日と10月1日であるが、1998年同時期のピーク値は10,000 km²程度である。これは、トンレサップ領域の最大湛水面積が50%縮小したことを示す。

1997年におけるメコンデルタの洪水季節は、トンレサップ領域より長期間続いた。つまり、メコンデルタ領域の洪水の収束は、10月初めの洪水のピークから約2ヶ月後、11月の終わり頃からであるが、一方、トンレサップ領域では10月初めのピークを境にしてすぐに収束し始めている。また、1998年においても、洪水の収束し始める時期は、同様に1.5ヶ月位メコンデルタ領域の方が遅くなっている。これは、トンレサップ湖がメコンデルタの上流に位置し、メコン川の貯水湖となっていることに起因する関係であるといえる。

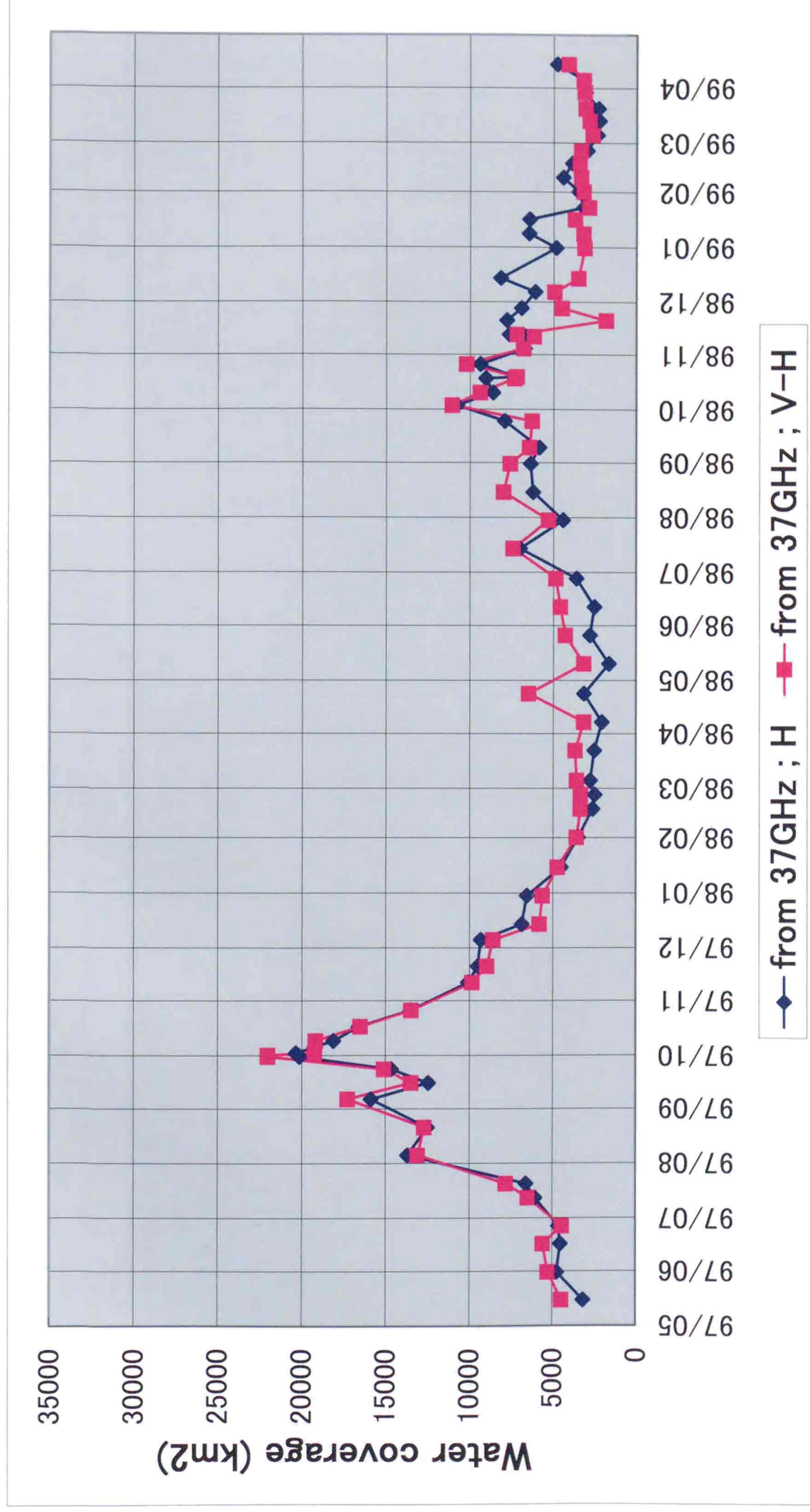


図6. 10 1997年5月から1999年4月までの、トンレサップにおけるSSM/I37GHz水平偏波輝度温度データから算出した湛水面積と、SSM/I37GHz輝度温度偏波差データから算出した湛水面積のグラフ。乾季において、輝度温度差データから算出した湛水面積値が、水平偏波輝度温度データから算出した値より大きい傾向にある。

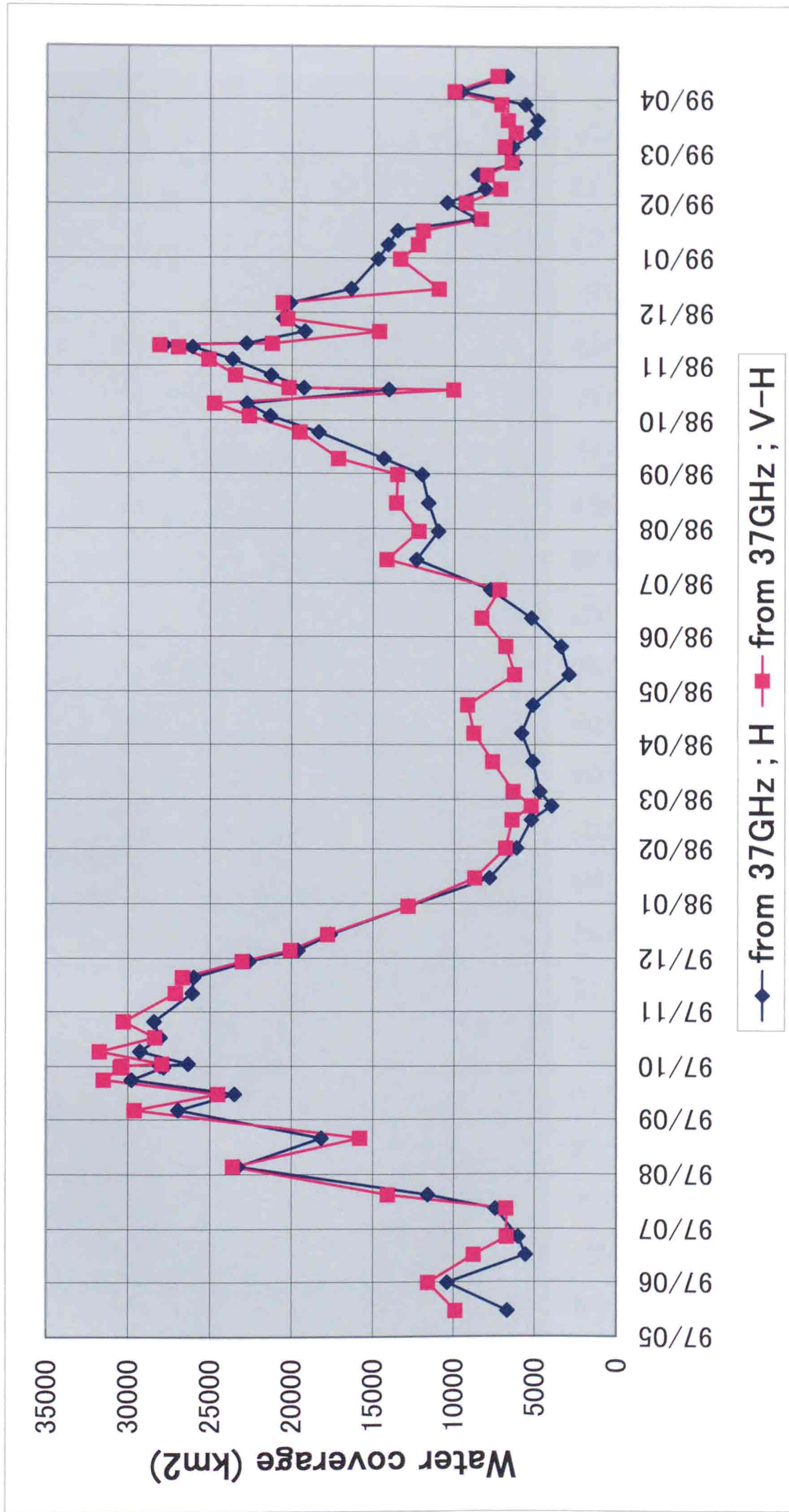


図6. 11 メコンデルタにおける第6.10 図同様のグラフ。 乾季における同様の特徴がトンレサップの場合より顕著である。

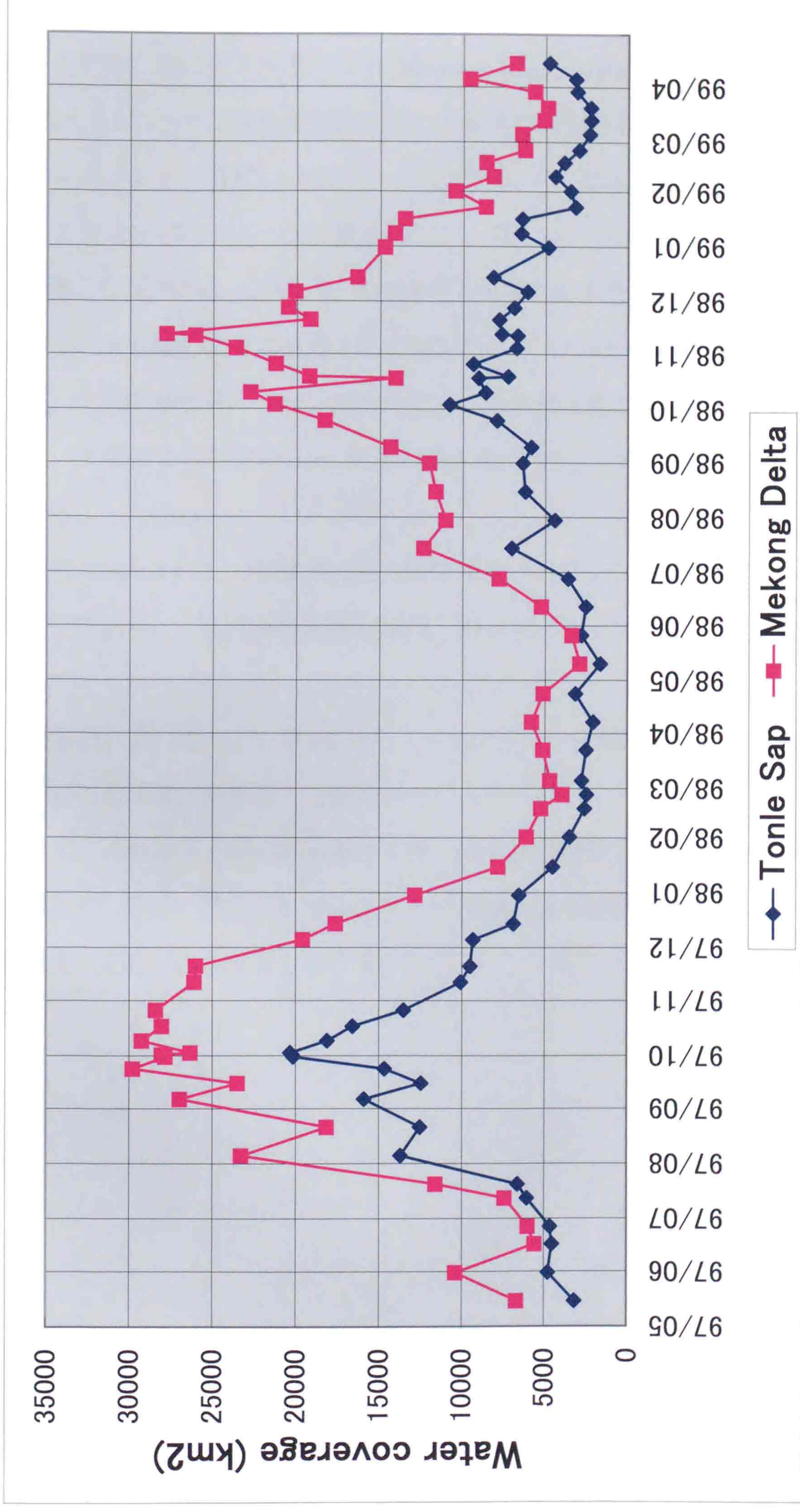


図6.12 1997年5月から1999年4月までの、トンレサップとメコンデルタにおける、SSM/I37GHz 水平偏波輝度温度データから算出した湛水面積のグラフ。雨季2シーズンとも、洪水のピークからの収束開始時期が、メコンデルタ領域ではトンレサップ領域より約1.5ヶ月遅い11月中旬ごろである。

6. 8 メコンデルタ領域における降水量と水位の地上測定値との比較

トンレサップとメコンデルタ領域の低地を覆っている水の大部分は、基本的に、メコン川に沿って東側に連なるアンナム山脈 (Annam Mountains) の降雨が起源である。図 6.13 に、メコン川に沿った 4 観測所で記録された各月の平均降水量を示す。

コンポンチャン (1951-1960)、バンメツオート (Buon Me Thuot) (1964-1974)、およびホーチミン (1947-1974) の 3 観測所のデータは、メコン川下流における降水量パターンを示している。雨季の 5 月から 10 月は毎月同程度の降水量 (300mm 程度) が続いている。

コラート台地の北東に位置するナコンパノン (Nakhon Phanom) (1953-1976) のデータからは、上流の降水量パターンがわかる。降水量は夏の季節に集中しているが、ピークの 8 月には、下流の 2 倍 (600mm) 程度の降水量になり、10 月には下流より一足早く乾季に突入しているようである。

また、図 6.14 は、1989 年から 1993 年までのプノンペンにおけるメコン川の水位を示したグラフである。6 月から上昇し始め、10 月頃ピークに達し、3 月頃までゆっくりと下がっていている。

図 6.11、及び図 6.13、6.14 から、メコンデルタ領域における湛水面積と降水量と水位には、次に述べる関連性があることが分かる。

まず、メコン川上流の降水量と下流の降水量の積算された結果が下流のプノンペンでの水位に現れている。そして、メコンデルタ領域の湛水面積の年間変化パターンは、メコン川下流の水位の変化によく連動している。

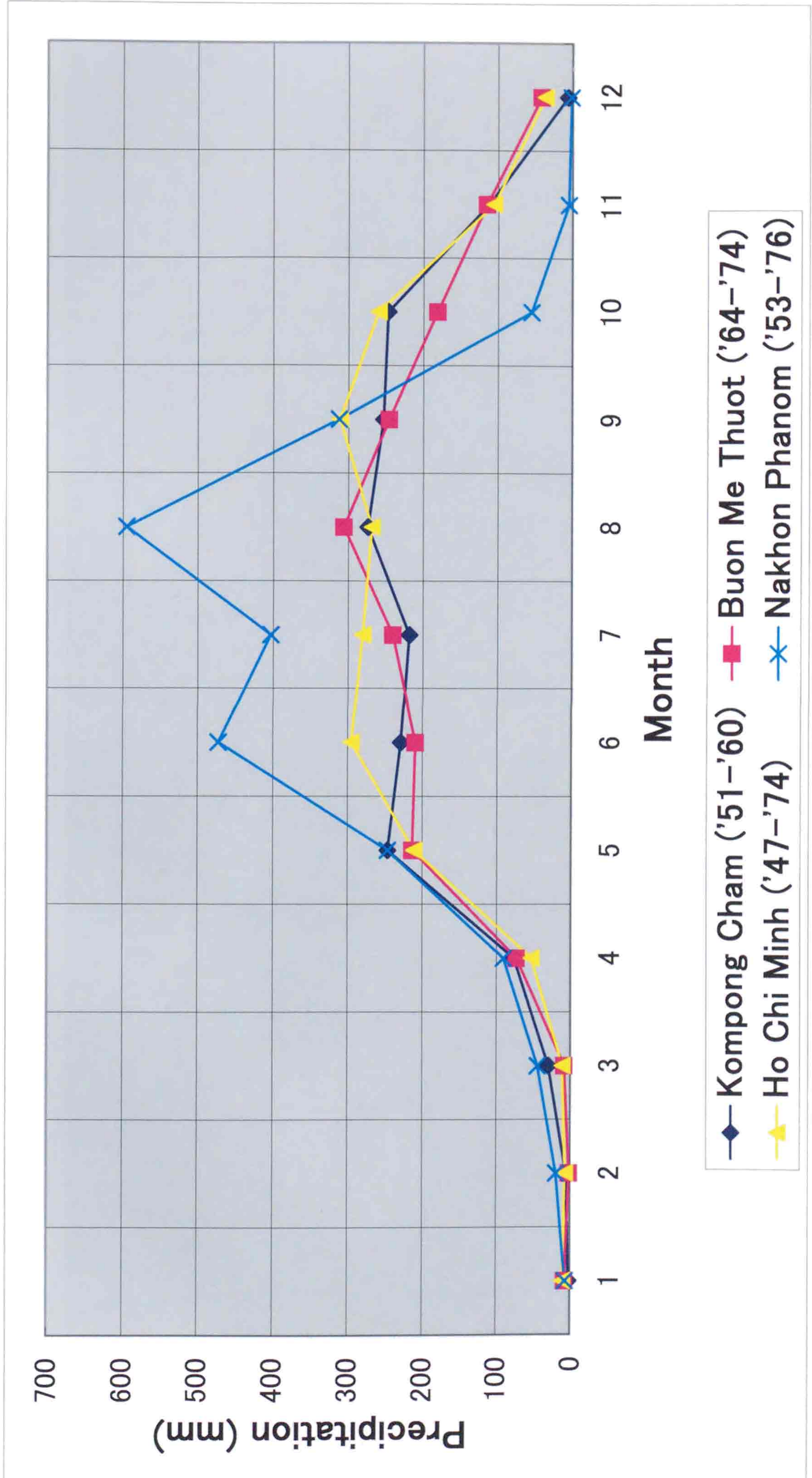


図6. 13 メコンデルタ周辺の4観測地点における月平均降水量の過去の平均グラフ。雨季は5月から10月までである。

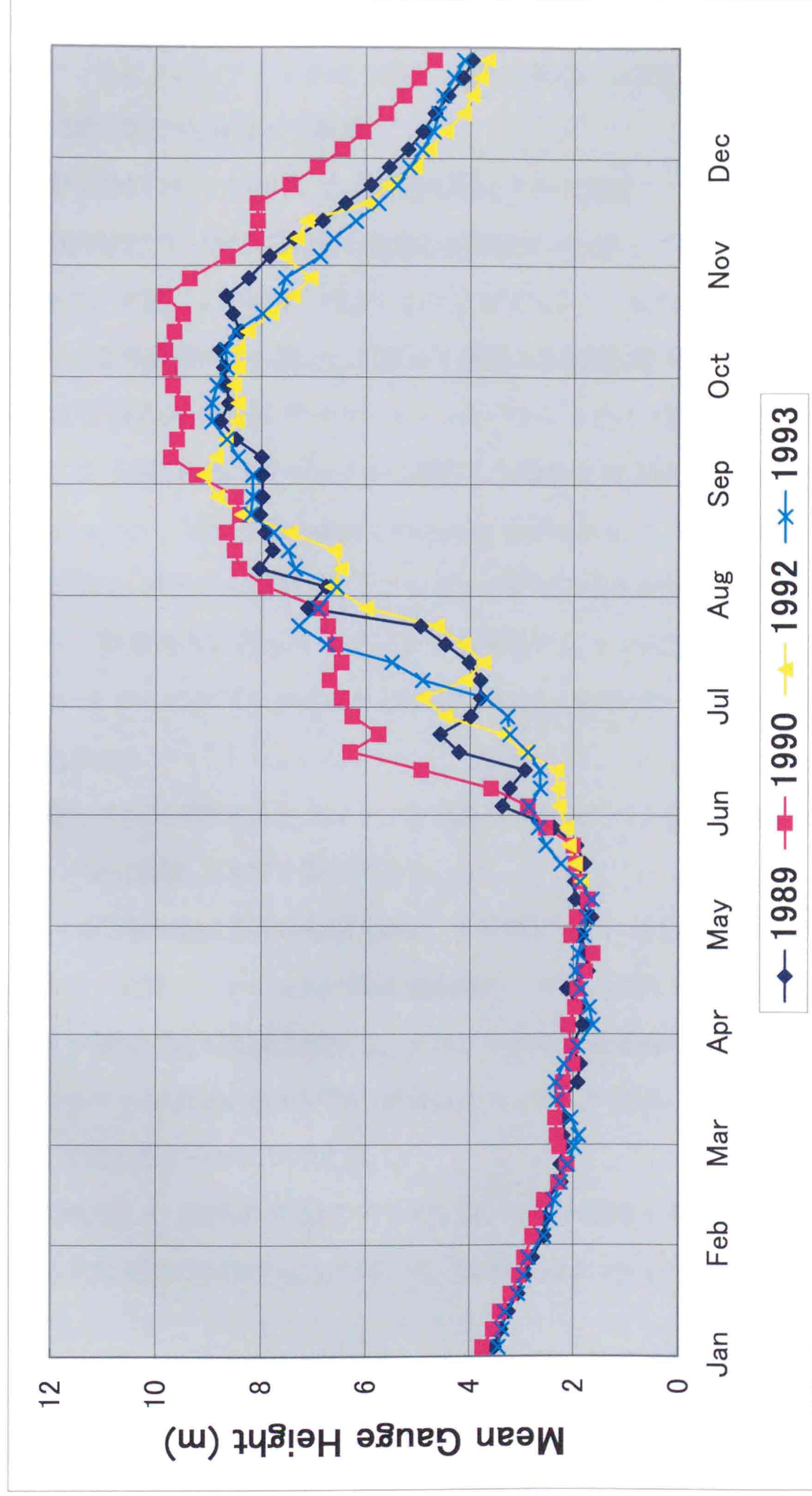


図6. 14 プノンペンにおけるメコン川の平均水位。 水位は5月後半から上昇し始め、10月半ばに下降し始める。

6. 9 まとめ

この研究では、DMSP-SSM/I 観測データから算出する湛水面積の推定方法について示した。トンレサップとメコンデルタ領域の湛水面積の変動を、DMSP-SSM/I の SDR データのうち、37GHz 輝度温度 T_b を使って観測した。

DMSP-SSM/I データを用いた湛水面積推定方法の精度については、より空間分解能の高い NOAA/AVHRR データから推定した湛水面積結果と比較して行った。その相関係数は 0.98 程度であり、非常によい精度で推定できたと言える。NOAA/AVHRR データをトランスデータとして回帰直線式から推定した値と、実際に DMSP-SSM/I データから求めた湛水面積との R.M.S. は DMSP-SSM/I データの 1 フットプリントサイズ程度であった。従って、乾季においては、DMSP-SSM/I データから推定した結果は NOAA/AVHRR データから推定した約 $2,500\text{km}^2$ に比べ、50%前後の誤差がみられる場合もあるが、約 $18,000\text{km}^2$ になる洪水シーズンにおいては、両者から推定したトンレサップ領域の湛水面積はよく一致している。全体としては、熱帯地方の洪水モニタリングをするのに十分な精度のレベルであると言える。NOAA/SAA からのリアルタイムな DMSP-SSM/I-SDR データを準備することにより洪水観測は強化される。

降水量とメコン川の水位とトンレサップ及びメコンデルタ領域の湛水面積は、年間を通した変動サイクルに関して密接な関係がある。

メコン川の降水量は 5 月から増え始め、8 月頃ピークに達し、10 月頃収束していく。メコン川の水位の増減は、メコン川の降水量増減のパターンに約 1.5 ヶ月遅れで続いている。メコンデルタ領域の湛水面積の増減は、メコン川の降水量増減のパターンと同期している。そしてトンレサップ領域の湛水面積の増減はメコンデルタ領域の増減と同期していて、湛水面積は 10 月の初め頃ピークに到達する。

ここで提唱した DMSP-SSM/I データを用いて湛水面積を常時モニタリングする手法は、熱帯地方または夏場の中緯度地方において、洪水—干ばつサイクル監視の実利用が可能であると思われる。