

7. DMSP-SSM/I 37GHz によるボルタ湖の湖水面積の測定

7.1 はじめに

ガーナのボルタ湖はアソソンボダム建設の結果形成された、世界で最大の人工湖である。図 7.1 にガーナの地図を示す。ボルタ湖の湖水面積は多くの資料で $8,500\text{km}^2$ と報告されている。ダムの水は、水力発電の動力であるとともに、ガーナおよび近隣の国々への灌漑水でもある。従って干ばつは、これらの国々に対して非常に大きなダメージを与える。雨季に蓄えられた水量で 1 年分を賄うので、雨季の湖水面積を推定することは重要な意味を持っている。

7.2 SSM/I 37GHz の偏波差によるボルタ湖の面積

バングラデシュや、トンレサップとメコンデルタ水域の洪水モニタリングのために開発したマイクロ波センサを用いる方法は、ボルタ湖水域を調査する場合にも適用出来る可能性がある。しかしながら、地理的な違いに応じて使用するデータの条件を考慮する必要があり、今回は次の条件でデータを選択した。

(1) 雨季の 8 月に取得したデータであること

雨季の中でも地上の温度変化が比較的少ない 8 月のデータを選択した。

(2) 早朝同時刻頃に取得したデータであること

考慮すべき物理的パラメーターの数を減らすために、比較的温度の安定している朝の時間帯を選択した。

(3) なるべく厚い雲のないデータであること

マイクロ波は一般に雲を透過するが、厚い雲はそれ自体が無視できない強度のマイクロ波帯電磁波を放射し、地上の正確な輝度温度測定ができなくなる可能性があるため、厚い雲をなるべく避けた。

雨季のデータセットは NOAA/SAA サービスにより入手した。

以下に、使用した DMSP-SSM/I-SDR データの取得日と、方法 1 および 2 によって求めた湖水面積を示す。

- ① 1997/8/12、7:53UT : 5,520 km²、5,860 km²
- ② 1998/8/14、7:59UT : 5,290 km²、4,730 km²
- ③ 1999/8/12、8:04UT : 5,280 km²、5,770 km²

図 7.2 は、方法 1 に用いた SSM/I 37GHz の水平偏波の輝度温度 (T37 h) 画像である。図 7.3 は、方法 2 に用いた 37GHz の垂直偏波と水平偏波の輝度温度差 (T37 v - T37 h) の画像である。

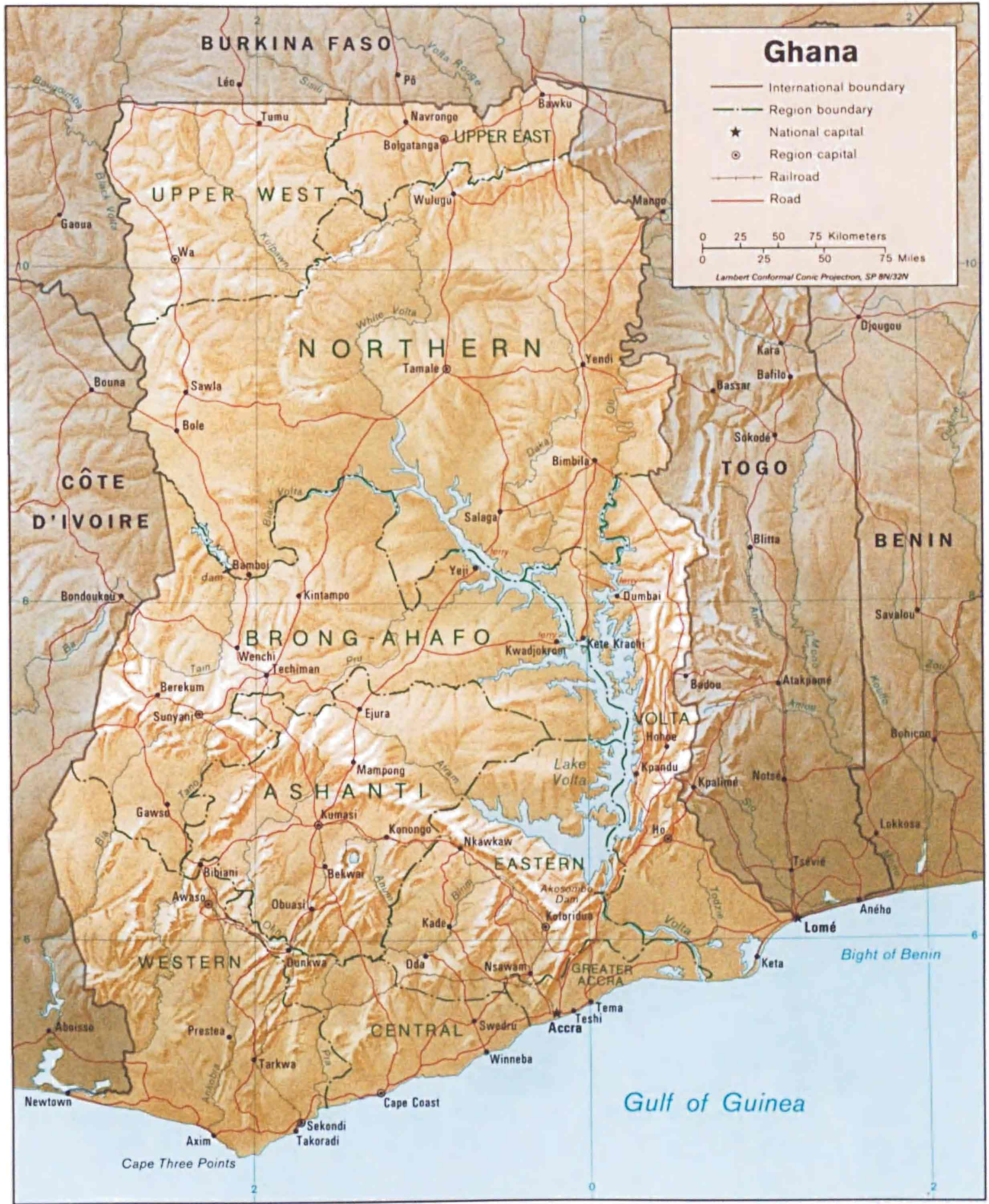
それぞれの方法で用いた、湖水面積を算出するための湛水面積率を求める式は、具体的に以下のとおりである。

$$\text{方法 1 } \% \text{Water} = 280 - T37 \text{ h} \quad (7. 1)$$

$$\text{方法 2 } \% \text{Water} = (100 / 45)(T37 \text{ v} - T37 \text{ h} - 2) \quad (7. 2)$$

方法 1 では、180K の輝度温度の画素は水に 100%覆われていて、280K では 0%であるとした。一方、方法 2 では、偏波による輝度温度差が 47K の画素は水に 100%覆われており、2K では 0%であるとした。いずれも第 6 章で示したのと同様の考え方で、ボルタ湖周辺の DMSP-SSM/I 画像データの値からその参照輝度温度 (差) を設定した。

計算は、図 7.2 および図 7.3 の中の白い線で囲んだ 16 ピクセル×12 ラインの範囲内で行った。ピクセルサイズは緯度経度ともに 0.2 度 (約 22km×約 22km) である。



Base: B02504 (A00953) 6-96

図7. 1 ガーナ地図

(http://www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map_collection/africa/Ghana_rel96.jpgより)

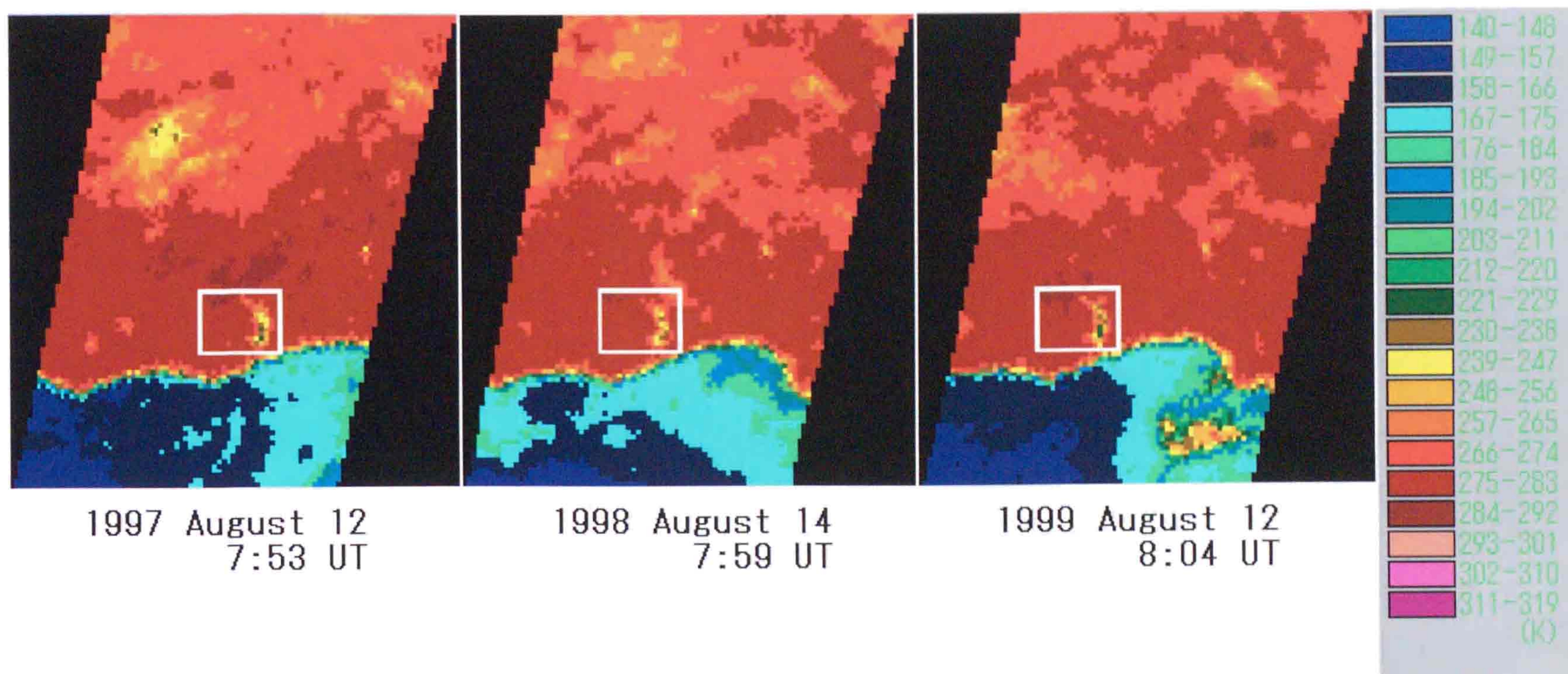


図7. 2 ボルタ湖のSSM/I 37GHz水平偏波輝度温度画像

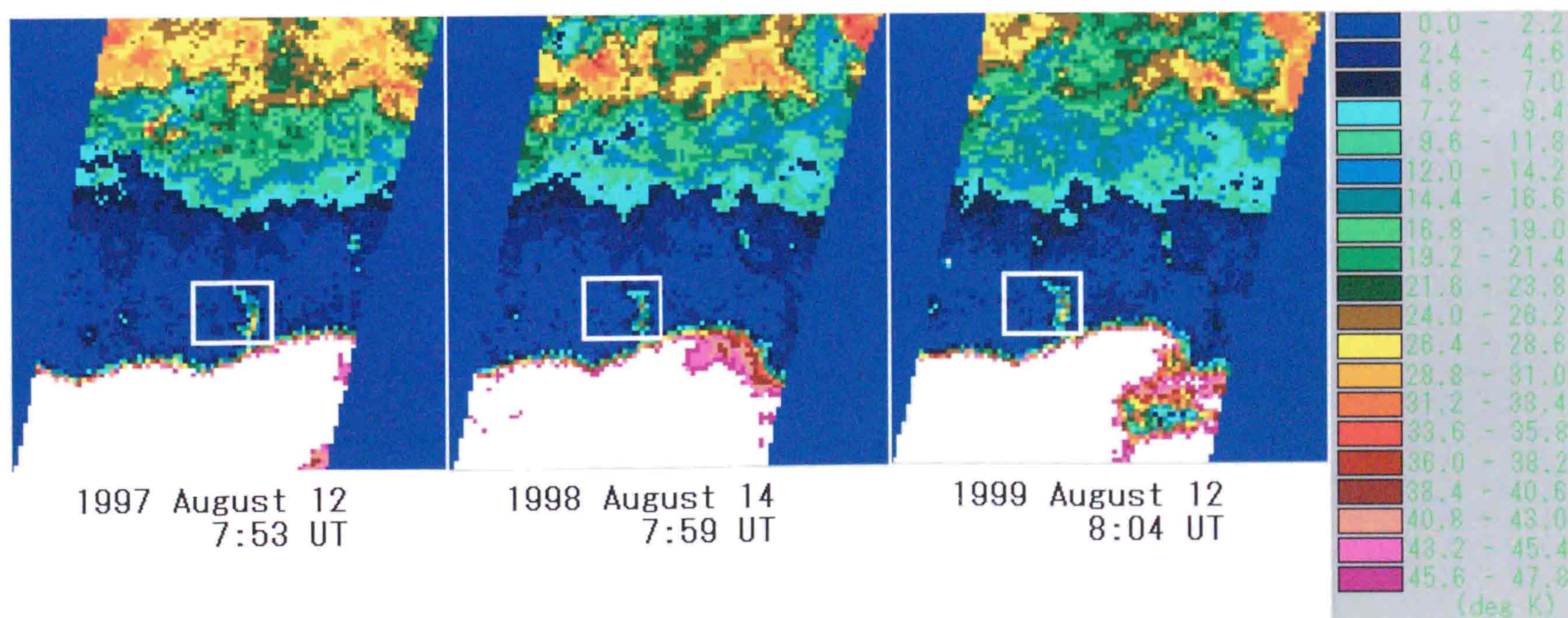


図7. 3 ボルタ湖のSSM/I 37GHz輝度温度偏波差画像

7.3 湖水面積の最小値と最大値の推定

ボルタ湖の最小の湖水面積を、乾季における NOAA/AVHRR データから求めて、推定した。

図 7.4 に 1995 年のボルタ湖の NOAA/AVHRR 画像を示す。画像表示は、Red にチャンネル 4、Green にチャンネル 2、Blue にチャンネル 1 を割り当てて合成してあるので、赤色で示されている部分が水面である。左図は乾季の 2 月 1 日、右図はそれから約 2 ヶ月後で、雨季の初期に当たる 3 月 30 日の様子である。湛水面積は、左図における赤色の画素数を 1-Cell 分類で抽出し、面積に換算して求めた。その結果、最小の湖水面積は、 $4,450\text{km}^2$ であると推定した。

左図ではボルタ湖北部のサバンナゾーンの土壌は乾燥しているが、右図では緑の草に覆われている。また、右図中ボルタ湖北側の支流 A、B、C では、支流の末端に赤色ではなく明るい水色が現れている。これらは、濁水と考えられるが、幅が狭いのでそう深くはない。ここで、湖中央付近西側の P、Q を結ぶラインの境界にも注目してみる。雲で隔てられた P から Q へのラインは、低地の湿った土壌と高台の乾いた土壌の境界でもあるようである。湖が雨季に入って増水すると、低地は洪水に弱い。増水時の湛水面積を知りたいのだが、この画像のように、増水時には雲のかかっていることが多く、可視センサの画像から湛水面積を正確に求めるのは難しい。

そこで、湖水面積の最大値の推定は、米国地理データセンター (National Geophysical Data Center ; NGDC) 提供の経緯度 5 分毎の地球高度データ (Earth Topography - 5 Minute ; ETOPO5) を用いて地形学上から行うことにした。ボルタ湖の満水時の標高は、84m である。高度 84m のピクセル数を積算したところ、合計は $9,970\text{km}^2$ 相当になった。図 7.5 に、ETOPO5 高度モデルによるボルタ湖満水時の画像を示す。

以上より、湖水面積は $4,450\text{km}^2$ から $9,970\text{km}^2$ まで変動することが予想される。

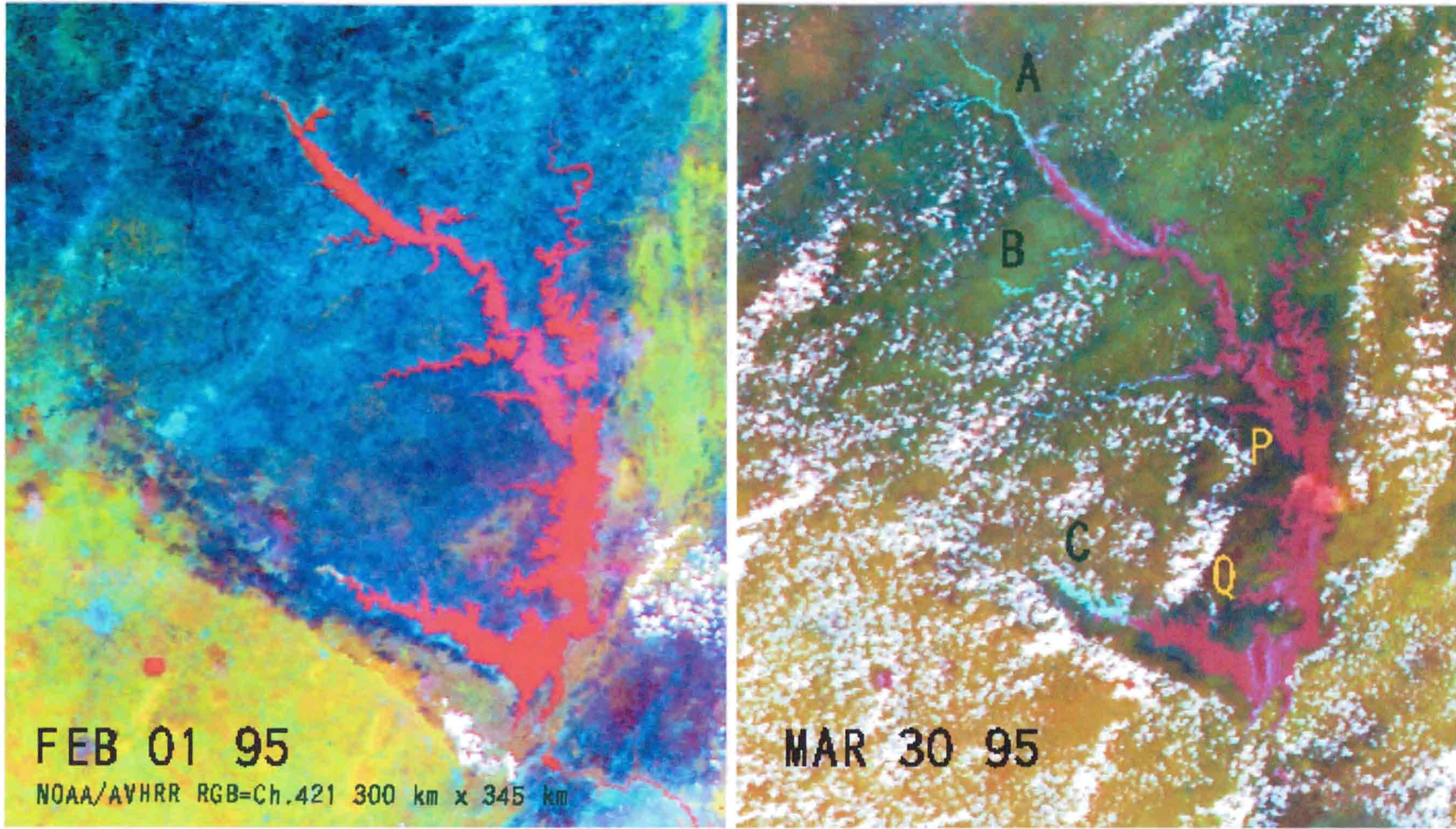


図7. 4 1995年乾季と雨季のボルタ湖のNOAA/AVHRR画像

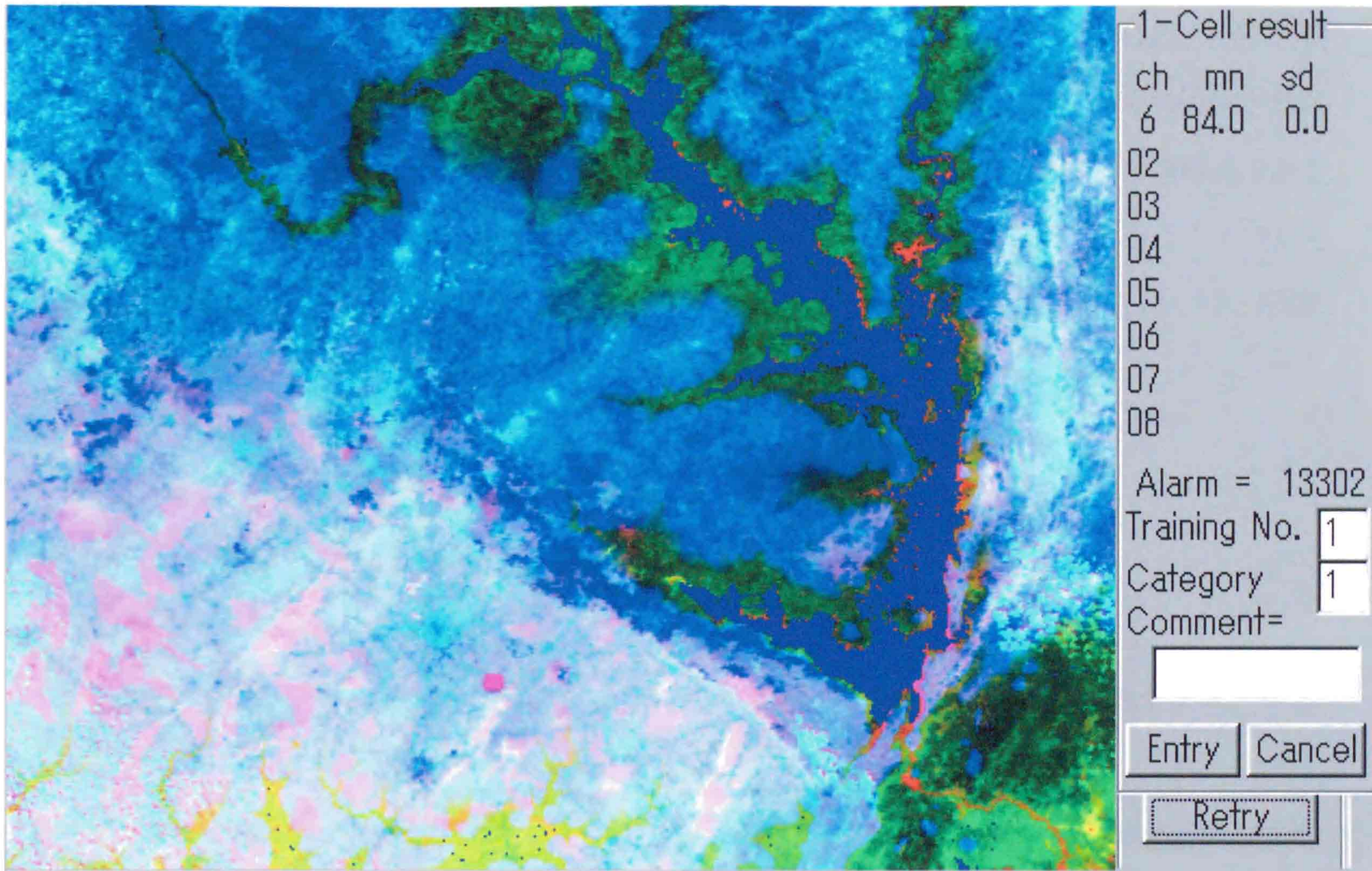


図7. 5 ETOPO5 高度モデルによるボルタ湖満水時の画像

7.4 SSM/I 偏波差データによる乾季のボルタ湖湖水面積測定の問題点

この地域で乾季に湖水面積を測定するうえでの問題点が明らかになった。それは、乾季に生じる植物の季節変化から来る。SSM/I データから湖水面積を測定するためには、地面の物理的状況がほとんど変わらない必要があるが、この地域の大草原では乾季に多くの植物が枯れてしまう。植物が生い茂っている場合は、水平偏波と垂直偏波の強度はほとんど同程度である。しかし、葉が枯れ落ちてしまうと、水平偏波の強度はその量に比例して減少する。すなわち偏波差は増加していく。ということは、ちょうど地上の湛水面積率が増加していく時と同様に偏波差が増加するので、水に覆われた効果だけを分離することが困難となる。

7.5 まとめ

この研究は、DMSP-SSM/I データによって雨季のボルタ湖の湖水面積が観測できることを示した。

37GHz 単偏波データを使用して周囲の土地と水面との輝度温度の違いから湖水面積を推定する方法 1 からは、雨季における 1997 年から 1999 年の 3 年間、 $5,200\text{km}^2$ ～ $5,600\text{km}^2$ までの安定した値を得ることができた。

一方、37GHz の水平・垂直両偏波データの特性の違いを利用した方法 2 では、求めた湖水面積が 4600km^2 ～ 5900km^2 と、少しばらつきがあった。

残念ながらボルタ湖湖水面積の実測値は無いが、NOAA/AVHRR 及び ETOPO5 標高データから最小値と最大値を推定し、 $4,450\text{km}^2$ から $9,970\text{km}^2$ までが可能な湖水面積であるとした。すると、ほとんどの資料に見られる $8,500\text{km}^2$ という値と、今回 DMSP-SSM/I データから求めた値は上記範囲に入っているため、今回の方法は妥当であると考えられる。

ただし、ほとんどの資料に見られる $8,500\text{km}^2$ という値は最大に近いときの面積であり、実際には、最小時には最大時の 50% 程度の湖水面積になってしまい、かなり変動していることがわかる。

今後の課題としては、乾季に見られる大草原地帯の水平偏波データにおける温度低下に対する考察、及び偏波差データから求めた湖水面積のばらつきの大きさに対する考察があげられる。