

COBE-SST を用いた全球平均気温の算出

石原幸司（気象庁地球環境・海洋部気候情報課）

1. はじめに

気象庁ではこれまで、陸上で観測された気温データをもとに全球の平均気温を評価することで、地球温暖化の進行を監視し、その結果を気象庁ホームページや異常気象レポート、気候系監視報告、気候変動監視レポートなどにおいて公表している。しかし、全地球表面に占める陸域の割合はたかだか 3 割程度であることから、同様の評価を行っている米国海洋大気庁気候データセンター（NCDC：National Climate Data Center）など外国の機関では全球平均気温の算出には、陸上での観測データに加えてさらに海面水温を用いている（本来は海上気温を用いるべきなのだが、データの品質の問題があるほか、広域的には海面水温で代理できることが示されている（Rayner et al., 2003）ことから、海面水温偏差を海上気温偏差として代用している）。

今般、約 100 年間にわたる海面水温ならびに海上気象要素の客観解析データベース COBE（Centennial in-situ Observation Based Estimates of variability of SST and marine meteorological variables）が整備されたことを受け、その中の海面水温解析（石井ほか，2003；Ishii et al., 2005 など；以下 COBE-SST とする）を用いて、外国の機関と同様に、陸上での観測データに海面水温データをあわせた全地表面における全球平均気温の算出を業務的に行うこととなった。以下に、これまでに得られた成果を紹介する。

なお、以下の全球平均気温平年差の算出にあたっては Jones らの方法にほぼ従っている（Jones et al., 2001 などを参照）。

また、全球平均気温の監視にあたっては、平年値（1971～2000 年の平均値）との差（平年

差）を用いている。これは、観測値そのものが観測所の標高など地理的な影響を大きく受け空間代表性が低いのに対し、陸上での気温の観測値から求められた平年差は空間代表性がより高くなるからである。

2. 陸上で観測された気温データを用いた全球平均気温

陸上で観測された気温データを用いた全球の年平均気温平年差の算出に用いられるデータは、1880 年から 2000 年までは NCDC が世界の気候変動の監視に供するために整備した GHCN（Global Historical Climatology Network）データ（Peterson and Vose, 1997）を主に使用している。解析に使用した地点数は、年によって異なるが、300～3900 地点である。また、2001 年以降については、気象庁に毎月通報された月気候気象通報（CLIMAT 報）の約 1200 地点のデータを使用している。これらの地点のデータを用いるにあたっては、都市化の影響を除去するためのデータの選別は行っていないものの、全球平均気温の変化における都市化の影響は小さいことがこれまでの研究から指摘されている（IPCC, 2001；Hansen et al., 1996 など）。

全球の年平均気温平年差の算出にあたっては、これらのデータを用い、月ごとに ~ の方法で全球の月平均気温平年差を求め、それらの結果を 12 か月分平均することで求められる。

観測所での月平均気温を基に平年差を求める。

地球の全地表面を緯度方向 5 度 × 経度方向 5 度の格子（以下、5 度格子とする）に分け、格子内に位置する地点の平年差を全て平均したものをその格子の平均平年差と

する。

全ての格子の平均平年差を緯度による面積の違いを考慮した重みをつけて平均し、月別全球平均気温の平年差とする。

上記において、全格子(36×72)中、データのある格子が占める割合を被覆率といい、その被覆率が大きいときほど、全球平均した平均気温平年差の信頼度は高いと考えられる。

図1は1880~2004年までの陸上で観測された気温データを用いた、全球の年平均気温平年差と被覆率の経年変化を示している。これを見ると、被覆率(青線)は、統計を開始した頃は10%以下と低いものの、1970年代から1980年代にかけては30%を超えていることが分か

る。しかし、その後は25%程度にとどまっている。これは、GHCNの編集作業において、1990年以降のデータ収集が遅れているためであると考えられ、他機関でも同様の被覆率の低下がみられる(Jones et al., 2001など)。

全球の年平均地上気温平年差(赤線)は、大きくみると、相対的に寒冷な19世紀末から1900年代初頭、1910年代から1940年代にかけて上昇傾向、その後の1970年代にかけての下降傾向に続いて、1970年代以降はふたたび上昇傾向へと転じている。長期的には上昇傾向にあり、1880年以降の長期変化傾向は100年あたり 0.74 ± 0.09 の上昇率である(線形回帰から求めた95%の信頼限界を±を付記した数値で示している)。

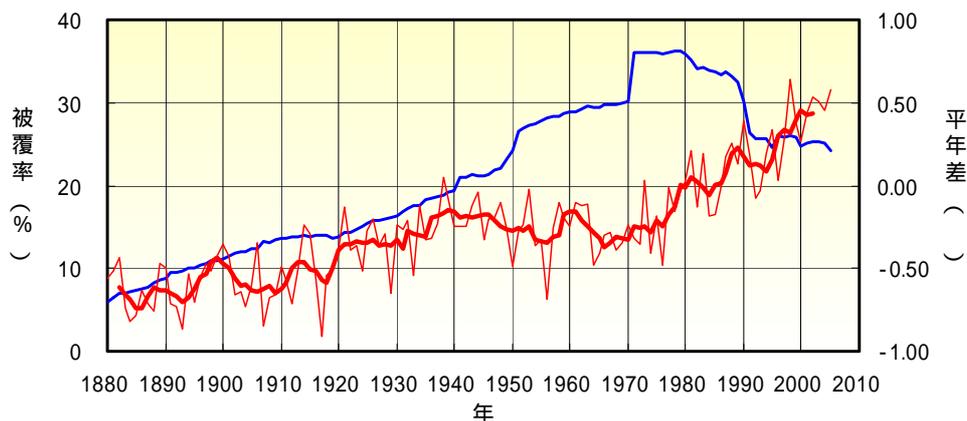


図1 1880~2004年の陸上で観測された気温データを用いた、全球の年平均気温平年差と被覆率の経年変化

赤細線：全球の年平均気温平年差の各年の値(単位：)

赤太線：全球の年平均気温平年差の5年移動平均値(単位：)

青太線：算出に用いられた緯度方向5度×経度方向5度の格子の被覆率(単位：%)

3. COBE-SSTを用いた全球平均海面水温

COBE-SSTは、米国海洋大気庁が保有する国際総合海洋気象データセット(ICOADS: International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set)に、神戸海洋気象台が収集・保管していたもののデジタル化されていなかった、1890~1932年における日本近海や外洋を航行する商船、漁船、観測船による歴史的に貴重なデータ「神戸コレクション」を新

たに追加し、また、近年は気象庁に通報された船やブイなどの観測データをあわせた海面水温の長期的なデータである。このCOBE-SSTは、「神戸コレクション」を追加したことで、特に北太平洋域においてはICOADSよりも解析誤差が減少する(Ishii et al., 2005)など、世界的にも重要な長期的海面水温データであるといえる。また、福田・松本(2005)では、COBE-SSTを、英国気象局ハドレー・センタ

ーによる長期的海面水温データ (HadISST1.1; Rayner et al., 2003) や前述の NCDC による ERSST.v2 (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature; Smith et al., 2004) や OI SST.v2 (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature; Reynolds et al., 2002) など他機関が作成した海面水温データとの比較を行っている。それによると、COBE-SST は 1984 ~ 2003 年における月別平均値では、HadISST1.1 と比べて北半球の中緯度域において、夏は低く、冬に高い傾向が、ERSST.v2 と比べて高緯度域では季節によらず低くなっていることを示している。

現在 1891 年までさかのぼって整備されている COBE-SST データは、緯度 1 度 × 経度 1 度ごとの格子データ (以下、1 度格子とする) なので、前節と同様に 5 度格子に変換した上で全球の平均海面水温平年差を算出した。具体的には、データのそろっている 1891 年以降について、月ごとに ~ の方法で全球の月平均海面水温平年差を求め、それらの結果を 12 か月分平均することで求めた。

COBE-SST データのうち、観測データが存在する 1 度格子データのみ、平年差を求める。

地球の全地表面における 5 度格子ごとに、

で求めた格子内の 1 度格子データの平年差を全て平均したものをその格子の平均平年差とする。

全ての 5 度格子の平均平年差を緯度による面積の違いを考慮した重みをつけて平均し、月別全球平均海面水温の平年差とする。

図 2 は 1891 ~ 2004 年までの COBE-SST を用いた、全球の年平均海面水温平年差と被覆率の経年変化を示している。これを見ると、被覆率 (青線) は、統計を開始した頃と第一次世界大戦、第二次世界大戦頃 (それぞれ 1910 年代、1940 年代) は 30% 程度と低いものの、1960 年代以降は継続して 60% を超えていることが分かる。

また、全球の年平均海面水温平年差 (赤線) は、大きくみると、1910 年頃に極小、1940 年代初頭に極大となっている。それ以降、しばらくは横ばい傾向であったが、1970 年代半ば以降、ふたたび上昇傾向に転じている。こうした海面水温の長期変動は、前節で述べた陸域における地上気温とおおまかには変化傾向が似ている。長期変化傾向は 100 年あたり 0.61 ± 0.06 (線形回帰から求めた 95% の信頼限界を \pm を付記した数値で示している) の上昇率である。

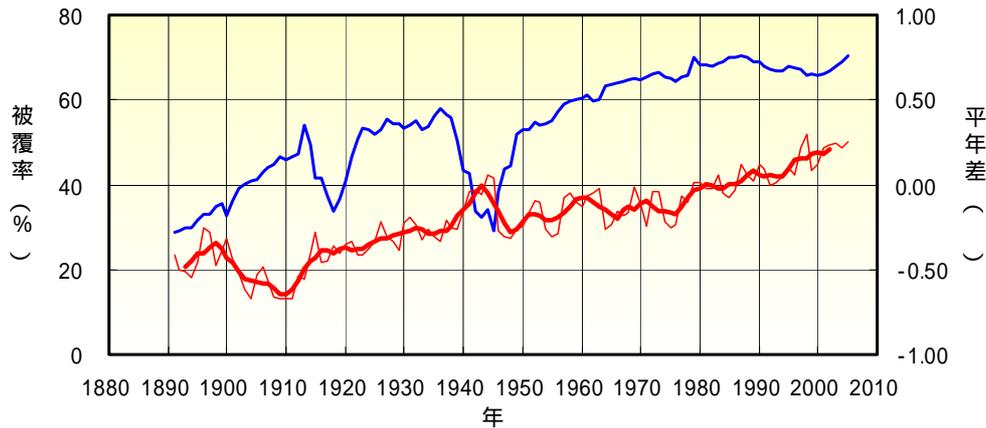


図2 1891～2004年のCOBE-SSTを用いた、全球の年平均海面水温平年差と被覆率の経年変化
 赤細線：全球の年平均海面水温平年差の各年の値（単位： $^{\circ}\text{C}$ ）
 赤太線：全球の年平均海面水温平年差の5年移動平均値（単位： $^{\circ}\text{C}$ ）
 青太線：算出に用いられた緯度方向5度×経度方向5度の格子の被覆率（単位：%）

4. 陸上で観測された気温と海面水温をあわせて算出した全球平均気温

第2節及び第3節の で算出された5度格子データを用いると陸域、海域をあわせた全地表面を対象とした全球の年平均気温を算出することが可能となる。具体的には、1891年以降について、月ごとに、 の方法で全球の月平均気温平年差を求め、それらの結果を12か月分平均することで求める。

地球の全地表面における各5度格子について、すべて陸域である場合は第2節 で求めた当該格子の月平均気温平年差、すべて海域である場合は第3節 で求めた当該格子の月平均海面水温平年差とする。

5度格子が、陸域と海域ともに含んでいる場合は、その割合（海陸比）によって、当該格子の第2節及び第3節の で算出された値を配分する。ここで、海洋の割合は、5度格子に含まれるCOBE-SSTデータの1度格子の割合とする。また、陸域又は海域の割合が25%に満たない5度格子は、陸域または海域の割合を25%に固定して配分する。これは海洋中のわずかな陸域において観測された気温データは周りの海面水温データよりも信頼できることと、海岸

近くの海洋ではたくさんの観測データが存在するからである(Jones et. al., 2001)。

図3は1891～2004年までの陸上で観測された気温データとCOBE-SSTを用いた、全球の年平均気温平年差と被覆率の経年変化を示している。これを見ると、被覆率（青線）は、統計を開始した頃は40%に満たない値であったが、その後第一次世界大戦、第二次世界大戦頃（それぞれ1910年代、1940年代）を除いて、1990年頃までは継続して上昇していることが分かる。1990年代以降は、ほぼ80%程度となっている。

また、全球の年平均地上気温平年差（赤線）は、大きくみると、1910年頃に極小、1940年代初頭に極大となっている。それ以降、しばらく横ばい傾向であったが、1970年代半ば以降、ふたたび上昇傾向に転じている。長期変化傾向は100年あたり 0.65 ± 0.07 （線形回帰から求めた95%の信頼限界を \pm を付記した数値で示している）の上昇率である。

この結果、1998年が平年差 $+0.37$ で、1891年の統計開始以降では、これまでと同様に第1位となる高温を記録した年となった。第2位以降は、2002年・2003年（ $+0.31$ ）、

2001年・2004年(+0.27)と続いている(カッコ内は平年差)。

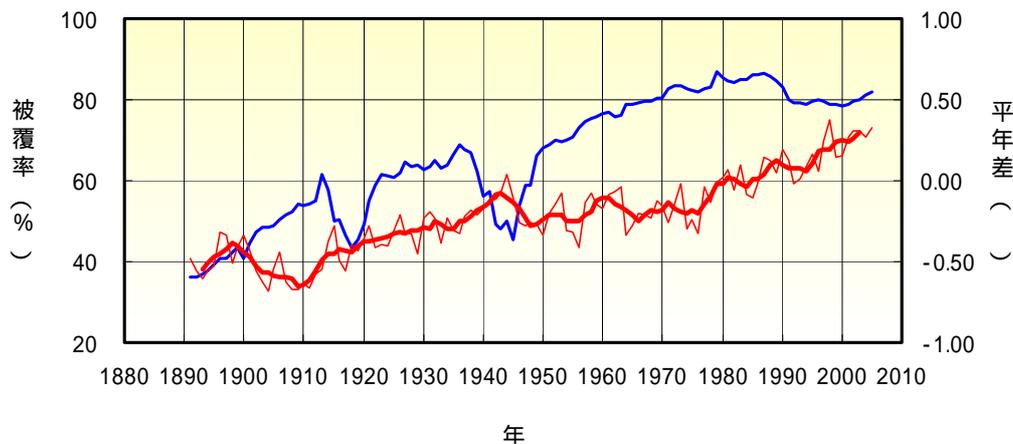


図3 1891～2004年の陸上で観測された気温データとCOBE-SSTを用いた、全球の年平均気温平年差と被覆率の経年変化

赤細線：全球の年平均気温平年差の各年の値(単位：°C)

赤太線：全球の年平均気温平年差の5年移動平均値(単位：°C)

青太線：算出に用いられた緯度方向5度×経度方向5度の格子の被覆率(単位：%)

5. 他機関との比較

前項における結果について、他機関との比較を行ってみる。今回比較を行った機関は、以下のとおりである。

各機関とも陸上データとしては主に上記GHCNやCLIMAT報を用い、そのほか独自に入手したデータも用いている。また、海面水温データとしてはCRUとUKMOが上記HadISSTを用いているのに対し、NCDCはHadISSTにOI SSTを組み合わせているほか、GISSはRSSI(Smith et al., 1996)にOI SST

を組み合わせ用いている。さらに、全球平均気温の算出には、CRUやUKMOは今回使用しているthe climate anomaly method(CAM; Jones et al., 2001)を採用しているのに対し、NCDCはthe first difference method(FDM; Peterson et al., 1998)、GISSはthe reference station method(RSM; Hansen and Lebedeff, 1987)を採用している(Jones and Moberg, 2003)。このほかにも、平年値の参照期間が異なるなど、各機関が独自性をもって異なる結果を公表している。

- ・ イースト・アングリア大学気候研究ユニット(CRU: Climate Research Unit)
(URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>)
- ・ 英国気象局ハドレー・センター(以下、UKMOとする)
(URL: <http://www.met-office.gov.uk/research/hadleycentre/obsdata/globaltemperature.html>)
- ・ 米国海洋大気庁気候データセンター(NCDC)
(URL: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/anomalies/anomalies.html>)

- ・ 米国航空宇宙局ゴッダード宇宙研究所 (GISS : Goddard Institute for Space Studies)
(URL : <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>)

図 4 は今回求められた被覆率の経年変化を CRU が公表しているもの (1856 年から) と比較した結果である。これを見ると、ともに似たような値、変化傾向を示しているものの、1910 年代から 1940 年頃までは気象庁の方が被覆率が 10% 前後高く、また 1940 年代から 1970 年

代にかけては CRU の方が数% 高くなっていることが分かる。両者の相関係数は 0.97 である。このように、CRU とは使用したデータは異なるものの、同じような被覆率の変化をしていることが確認された。

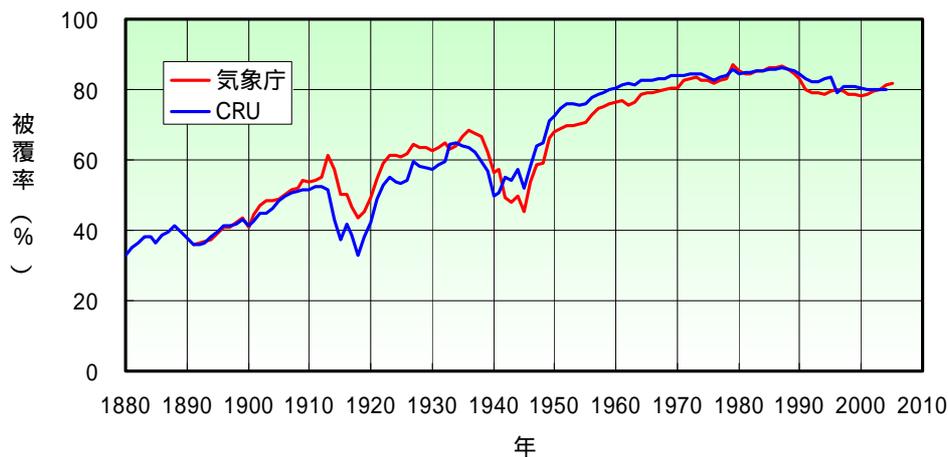


図 4 1891 年以降の被覆率の経年変化の比較 (単位 : %)

赤線 : 今回求められた被覆率

青線 : イーストアングリア大学の CRU (Climate Research Unit) が公表している被覆率 (1856 年以降公表)

また、全球の平均気温平年差について、上記 4 機関が公表している値との比較を行った結果が図 5 である。この図を見ると、具体的な算出方法やデータ・ソースがことなっているために、各年における平年差の値は異なっているものの、1940 年代に一時的に高くなっている傾向や、1970 年代以降に上昇傾向が見られることなど、大きな変化傾向はすべて類似していると言える。ここで、今回求められた値が系統的に他機関に比べて値が低いのは、前述の通り、

平年値として気象庁では 1971 ~ 2000 年平均値を採用しているのに対し、他機関では相対的に値の低い 1961 ~ 1990 年平均値を採用していることなどが挙げられる。

各機関との相関係数は、0.98 (NCDC ・ CRU ・ GISS)、0.97 (UKMO)、各機関の 1891 ~ 2004 年までの 100 年あたりの変化傾向は、0.64 (CRU)、0.58 (UKMO)、0.56 (NCDC)、0.53 (GISS) である。

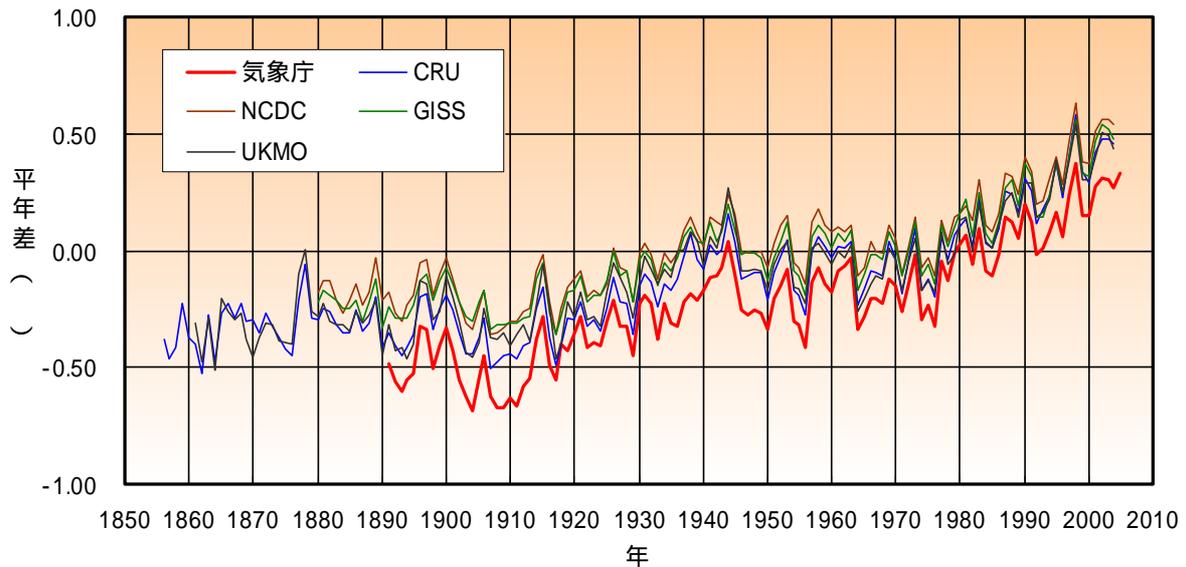


図5 全球の年平均気温平年差の経年変化の比較（単位： ）
 赤太線：今回求められた全球の年平均気温平年差（1891年以降）
 各細線：NCDC（1880年以降公表）、GISS（1880年以降公表）、UKMO（1860年以降公表）、
 CRU（1856年以降公表）が公表しているデータを基に気象庁で作成

6. おわりに

これまで外国の諸機関では算出されていた全地表面を含めた全球の平均気温平年差の算出が、今般、ようやく気象庁においてもオリジナルのデータを用いて算出可能となった。今後は、使用しているデータの精度を検証するとともに、算出された年平均気温の平年差の不確定性を求める作業を行うなど、これまで先行してきた外国の諸機関の取り組みをさらに詳細にレビューしながら、より科学的に信頼性の高いデータを構築していかなければならない。また、こうしたデータセットを用いたさまざまな解析に取り組んでいきたい。

参考文献

- 福田義和, 松本隆則, 2005: 新しい気候解析用海面水温データセット COBE-SST, 平成16年度全国季節予報技術検討会資料, 気象庁気候・海洋気象部, 156-185.
- Hansen, J. E., and S. Lebedeff, 1987: Global trends of measured air temperature. *J. Geophys. Res.*, **92**, 13,345-13,372.
- Hansen, J., R. Ruedy, J. Glascoe and M. Sato, 1999: GISS analysis of surface temperature change. *J. Geophys. Res.* **104**, 30997-31022.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. I. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, UK, 881pp.
- 石井正好・小司晶子・杉本悟史・松本隆則, 2003: 海面水温ならびに海上気象要素の客観解析データベース:COBE., 月刊「海洋」, 2003年11月号, 793-797.
- Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto, and T. Matsumoto, 2005: Objective analyses of SST and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe collection. *Int. J. Climatol.*, **25**, 865-879.
- Jones, P.D., T.J. Osborn, K.R. Briffa, C.K. Folland, B. Horton, L.V. Alexander, D.E. Parker, and N.A. Rayner, 2001: Adjusting for sampling density in grid-box land and ocean surface temperature time series. *J. Geophys. Res.*, **106**, 3371-3380.
- Jones, P.D. and A. Moberg, 2003: Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Climate*, **16**, 206-223.
- Peterson, T. C., and R. S. Vose, 1997: An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2837-2849.
- Peterson, T. C., T. R. Karl, P. F. Jamason, R. Knight, and D. R. Easterling, 1998: The first difference method: Maximizing station density for the calculation of long-term global temperature change. *J. Geophys. Res.*, **103**, 25,967-25,974.
- Rayner, N.A., D.E. Parker, E.B. Horton, C.K. Folland, L.V. Alexander, D.P. Rowell, E.C. Kent, and A. Kaplan, 2003: Globally complete analyses of sea surface temperature, sea ice and night marine air temperature, 1871-2000. *J. Geophys. Res.*, **108**, 4407, doi 10.1029/2002JD002670
- Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, **15**, 1609-1625.
- Smith, T. M., R. W. Reynolds, R. E. Livesay and D. C. Stokes, 1996: Reconstruction of historical sea surface temperature using empirical orthogonal functions. *J. Climate*, **9**, 1403-1420.
- Smith, T. M. and R. W. Reynolds, 2004: Improved Extended Reconstruction of SST (1854-1997). *J. Climate*, **17**, 2466-2477.