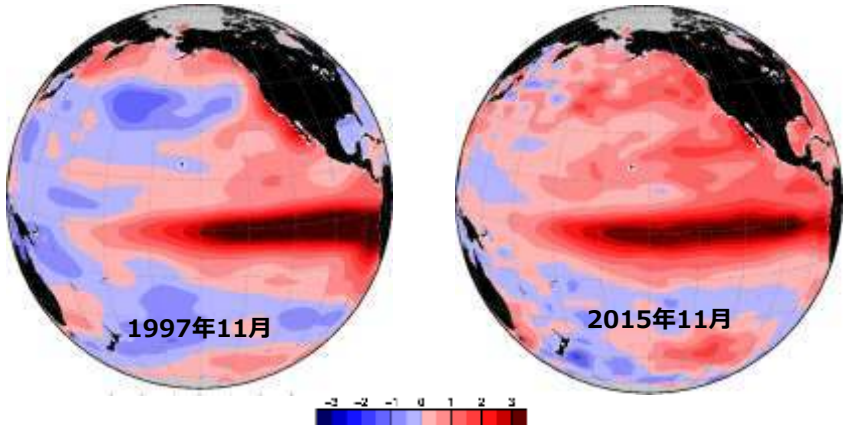
H28.6.19 サイエンスカフェ、我孫子

エルニーニョ現象とその影響

前田　修平
気象研究所気候研究部



安田氏提供

1

私の履歴（気象庁での職歴）

1979-1983　気象大学校
1984-1986　富山地方気象台
1987-1988　新潟地方気象台
1989-1995　予報部長期予報課（季節予報）
1996-1997　気候・海洋気象部海務課
1998-2000　気象研究所気候研究部第四研究室（地球温暖化）
2001-2014　地球環境・海洋部気候情報課（異常気象、季節予報、エルニーニョ監視速報）
2015-　気象研究所気候研究部第二研究室（季節予報）

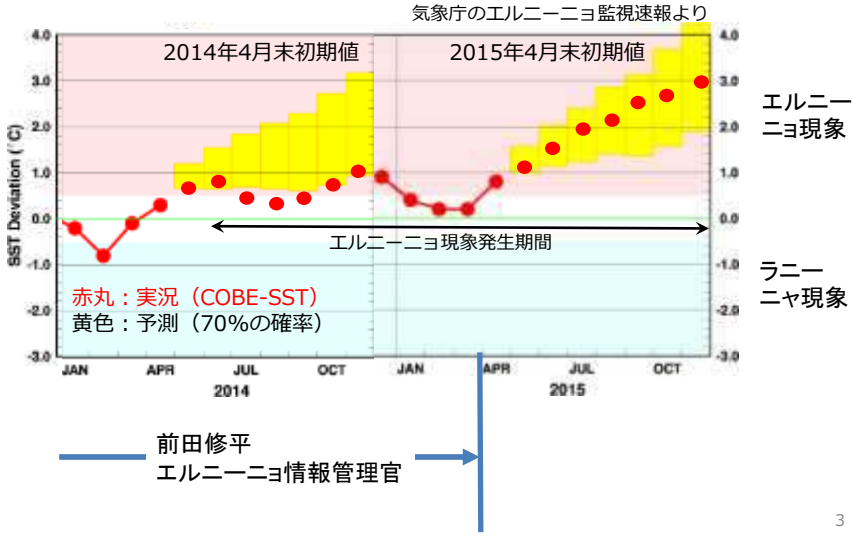
＊平成元年から気候に関する仕事、今年で28年目

2

2014年の未発達と2015年の発達

エルニーニョ監視海域（東部太平洋赤道域、NINO.3）
の海面水温の実況と予測

気象庁のエルニーニョ監視速報より



3

概要

1. エルニーニョ/ラニーニャ現象とは
2. エルニーニョ/ラニーニャ現象の影響
3. 2014～16年のエルニーニョ現象とその影響
4. おわりに

4

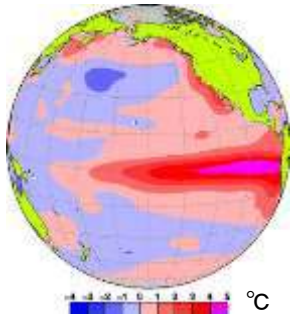
1．エルニーニョ/ラニーニャ現象とは

5

エルニーニョ/ラニーニャ現象

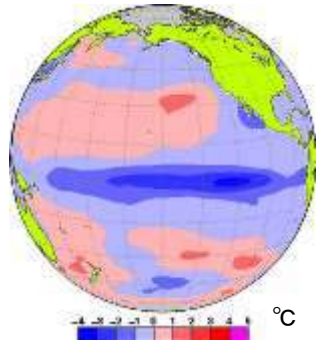
エルニーニョ現象とは、太平洋赤道域の中央部（日付変更線付近）から南米のペルー沿岸にかけての広い海域で、海面水温が平年に比べて高くなり、その状態が半年から1年半程度続く現象。逆に、同じ海域で海面水温が平年より低い状態が続く 現象を「ラニーニャ現象」と呼ぶ。

エルニーニョ現象時の海面水温平年偏差



1997年11月の月平均海面水温平年偏差

ラニーニャ現象時の海面水温平年偏差



1988年11月の月平均海面水温平年偏差

なぜ注目するか

○エルニーニョ/ラニーニャ現象は、年々の気候変動の原因となる、地球で最も卓越した大気・海洋の現象である。

○熱帯のみならず、日本を含む世界の天候に影響し、異常気象の要因となる。社会・経済活動への影響も大きい。

例：1997/98年のエルニーニョ現象は、インドネシアでの干ばつと森林火災などをもたらし、直接的な経済的被害は340億ドルとなった（世界気象機関の1999年の報告より）。

○半年程度先までならある程度の精度で予測が可能で、季節予報の重要な根拠となる。

7

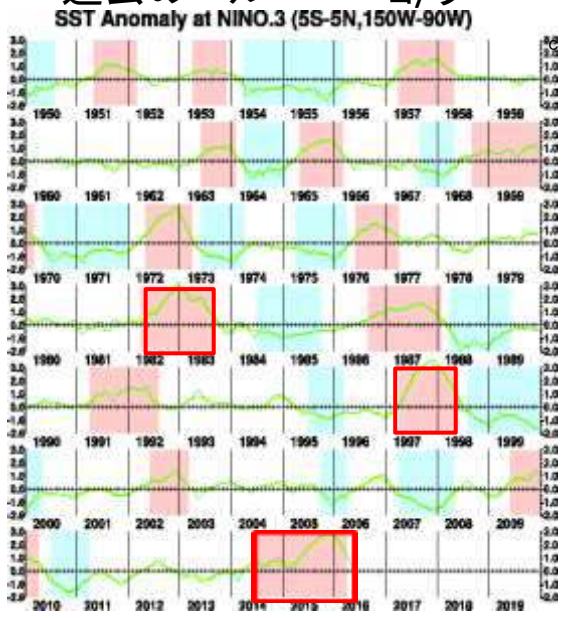
気象庁における「エルニーニョ/ラニーニャ現象」の定義＊

太平洋赤道域の中部から東部にかけて設定した「エルニーニョ監視海域（5°N～5°S、150～90°W）」の月平均海面水温の基準値（その年の前年までの30年間の各月の平均値）との差(エルニーニョ監視指数，NINO.3）の5か月移動平均値が、6か月程度以上連続して+0.5℃以上（−0.5℃以下）になった場合をエルニーニョ（ラニーニャ）現象とし、その始まりと終わりを季節で現わしたものを発生期間としている。

＊米国海洋大気庁（NOAA)の定義とは異なる）

8

過去のエルニーニョ/ラニーニャ現象（1950年～）



○エルニーニョ/ラニーニャ現象は数年に1回発生。1950～2013年の間に、15/14回発生。

○継続期間は、3～8季節

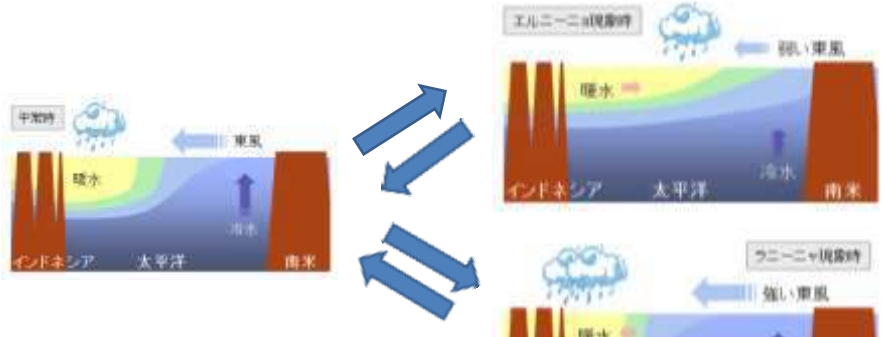
○1997年春～1998年春のエルニーニョ現象は、顕著に発達。1997年11月には、エルニーニョ監視指数が+3.6℃

○最近のエルニーニョ現象は、2014年夏～2016年春。2015年12月に+3.0℃

○最近のラニーニャ現象は、2010年夏～2011年春。

9

エルニーニョ/ラニーニャ現象に伴う太平洋熱帯域の大気と海洋の変動

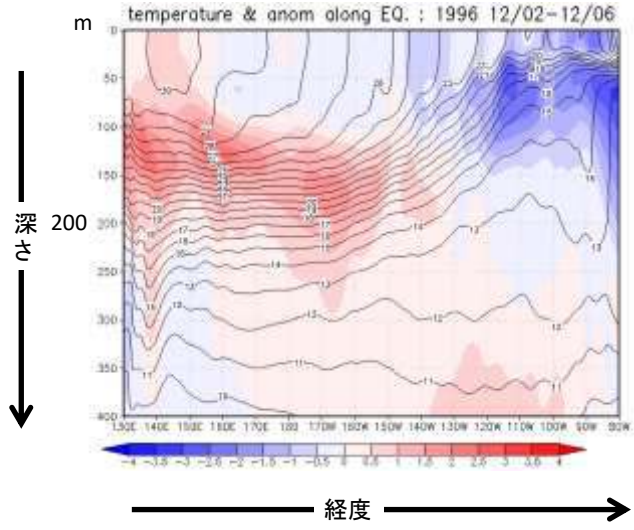


エルニーニョ/ラニーニャ現象は、太平洋熱帯域における大気と海洋の正の相互作用で発達・維持される現象。大気側の変動を含めて、エルニーニョ南方振動（ENSO）と呼ばれることも。

10

1997/98年のエルニーニョ現象

～ 太平洋赤道域の表層水温の変化、1996/12-98/12 ～



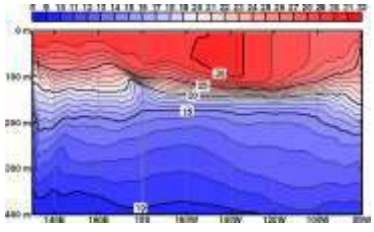
等値線は
水温(℃)、
色は平年
偏差(℃)

11

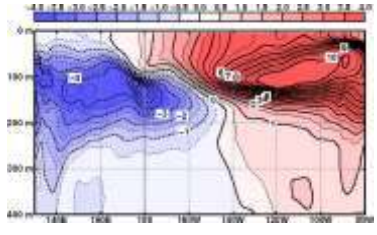
1997/98年のエルニーニョ現象

1997年11月

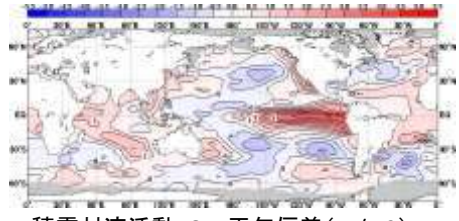
太平洋赤道域の表層水温(℃)



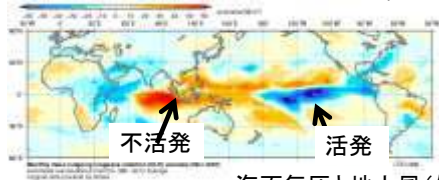
太平洋赤道域の表層水温の
平年偏差(℃)



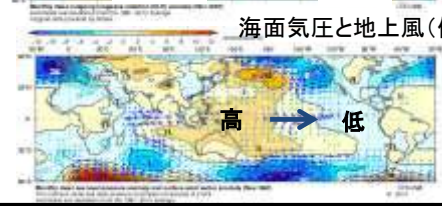
海面水温平年偏差(℃)



積雲対流活動:OLR平年偏差(W/m2)



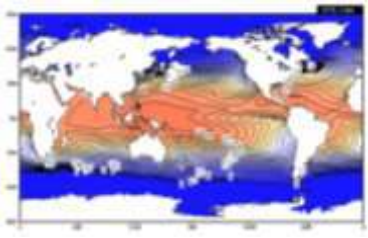
海面気圧と地上風(偏差)



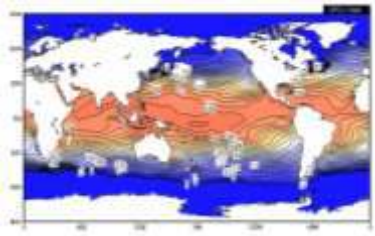
（補足） 平年値と平年偏差

平年値：1981～2010年の30年平均値
平年偏差：ある年の値の平年値からのずれ

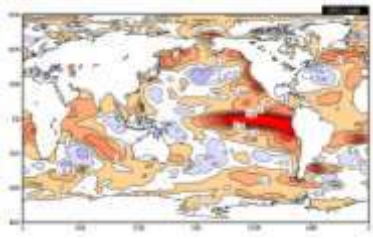
海面水温、11月の平年値 ℃



海面水温、1997年11月の値 ℃



海面水温、1997年11月の平年偏差 ℃



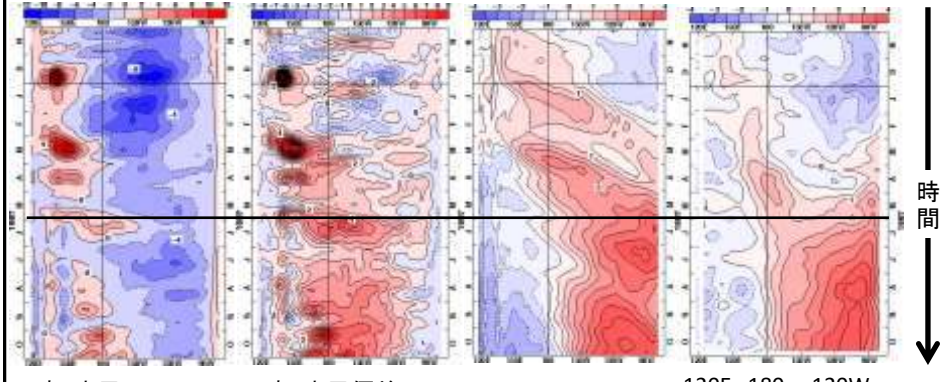
「平年偏差（偏差）」を見ることによって、いつもの年（平年）とどう異なっているか把握する。

13

1997/98年のエルニーニョ現象
～発生からピーク時にかけての変化～

1996年11月～1997年10月にかけての太平洋赤道域（120E～90W)の大気と海洋の変化。エルニーニョ現象は1997年夏に発生、冬の初めにピーク。

東西風（応力） 東西風偏差 表層水温偏差（300mまでの平均） 海面水温偏差



青：東風、
赤：西風

青：東風偏差、
赤：西風偏差

青：負偏差、
赤：正偏差

14

エルニーニョ/ラニーニャ現象は気候システムにおける熱の大きな変動

	大気	海洋
密度	1.2-1.3kgm^{-3}	10^{3}kgm^{-3} ：大気の約800倍
質量（単位面積当たり）	（大気トップ～地表） 10^{4}kgm^{-2}	（海面～深さ10m） 10^{4}kgm^{-2} ：大気の質量は深さ10mの海のそれと同じ
比熱	10^{3}Jkg^{-1}K^{-1}	4×10^{3}Jkg^{-1}K^{-1} ：大気の4倍
熱容量（単位面積当たり）	（大気トップ～地表） 10^{7}JK^{-1}m^{-2}	（海面～深さ2.5m） 10^{7}JK^{-1}m^{-2} ：大気の熱容量は深さ2.5mの海のそれと同じ

＊数字は代表的な値（Gill 1982より）。気温、気圧、湿度、水温、塩分で変わる。

誤解を恐れずにいえば、熱的には、「海洋表層の250mまで平年より1℃水温が高い」ことは、「大気（大気トップ～地表）が平年より100℃高い」ことと同じ。

15

2.エルニーニョ/ラニーニャ現象の影響

16

エルニーニョ現象に伴う大気の変化：熱帯

～赤道に沿ったウォーカー循環（東西鉛直循環）の変化の模式図～

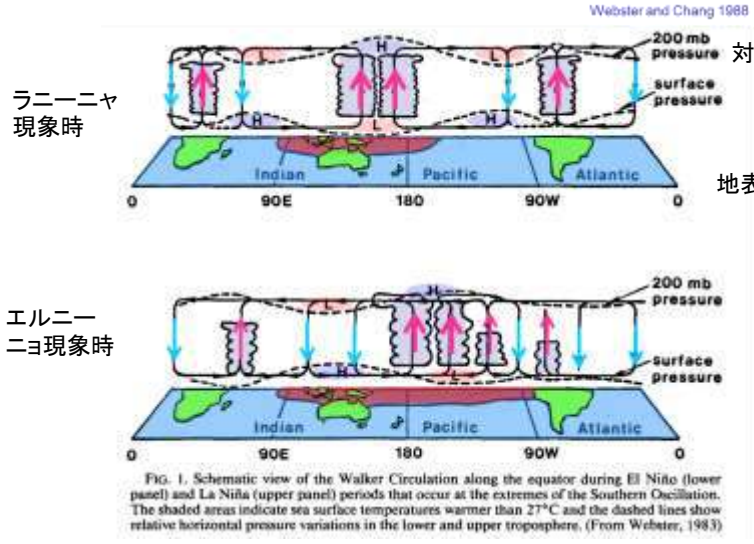
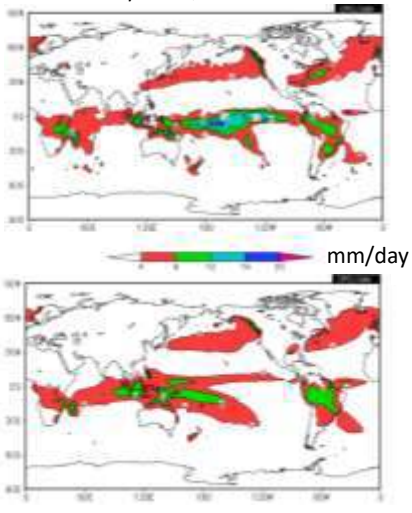


FIG. 1. Schematic view of the Walker Circulation along the equator during El Niño (lower panel) and La Niña (upper panel) periods that occur at the extremes of the Southern Oscillation. The shaded areas indicate sea surface temperatures warmer than 27°C and the dashed lines show relative horizontal pressure variations in the lower and upper troposphere. (From Webster, 1983)

17

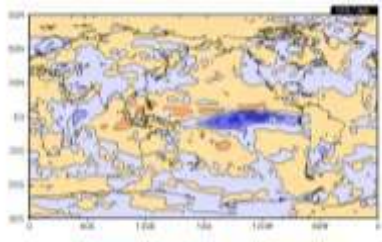
1997/98冬（12～2月）の降水量

上：1997/98冬、下：平年



mm/day

1997/98冬の平年偏差



mm/day

水蒸気の凝結による大気加熱の概算

潜熱（0℃で凝結）

：　$2.5 \times 10^6 \mathrm{Jkg^{-1}}$

大気の熱容量（単位面積あたり）

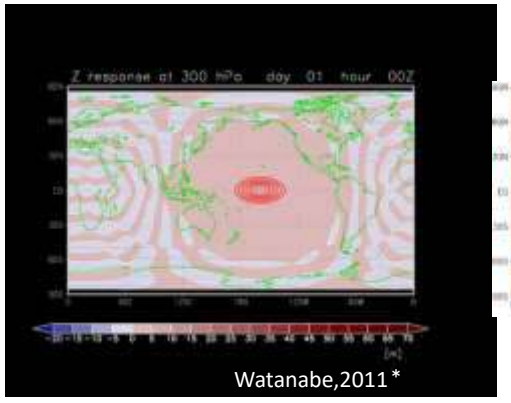
：　$10^7 \mathrm{JK^{-1}m^{-2}}$

→

単位面積あたり4kg/day(=4mm/day)の水蒸気の凝結は、大気を1K/day加熱する。

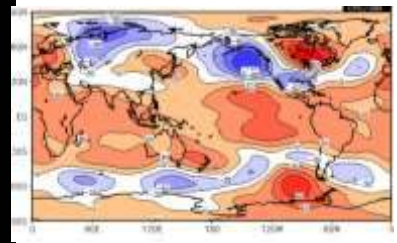
18

エルニーニョ現象に伴う大気の変化：全球
（単純化したメカニズムの例）



中部太平洋赤道域での大気加熱（赤色の楕円）に対する大気の線形応答(シミュレーション)。300hPa（上空約9km）の高度で、中緯度の正は偏西風の北への蛇行、負は南への蛇行に対応。

＊2011年に開催された"Twelfth Joint Meeting for the Seasonal Prediction of the East Asian Winter Monsoon"における発表資料より

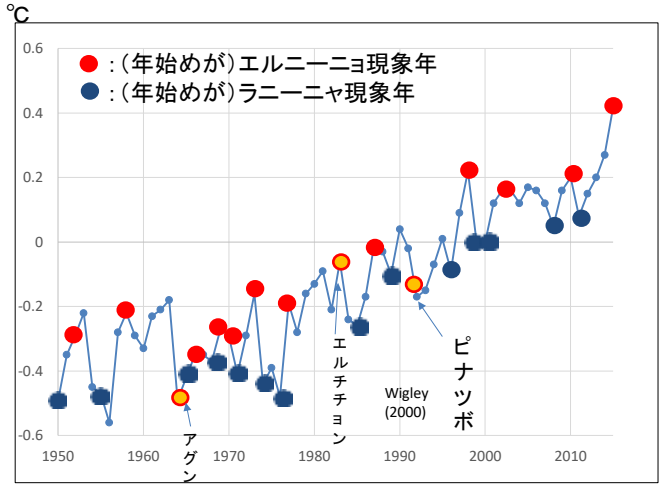


顕著なエルニーニョが発生していた1997/98年冬の300hPa（上空約9km）の高度偏差。

熱帯域における局在化した水蒸気の凝結に伴う大気加熱が、中緯度に「波」、すなわち偏西風の蛇行を作る

19

エルニーニョ現象の大気への影響（全球平均）
～世界の年平均気温偏差（1981-2010年の30年平均からの差、1950～2015年）～



（年始めが）エルニーニョ現象の年には、全球年平均気温が高い。

Trenberthら(2002)によれば、月NINO3.4が標準偏差分上がれば、月気温はそれに4カ月遅れで0.06℃の上昇。

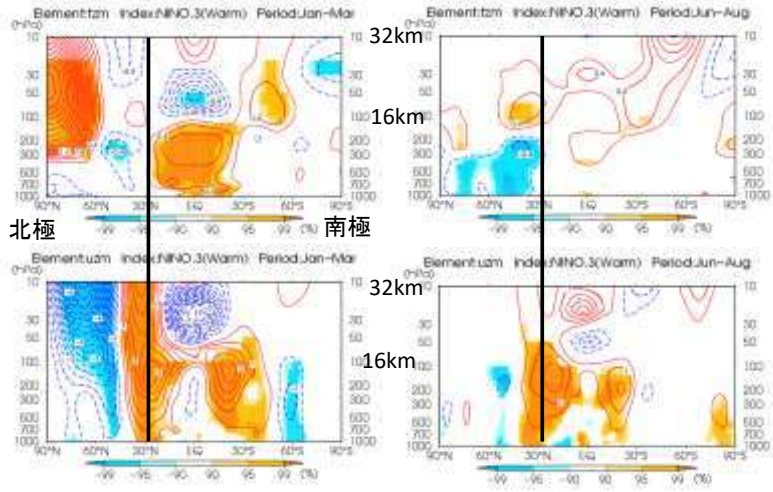
＊気温のデータは気象庁HPより

20

エルニーニョ現象の大気への影響（帯状平均）

（エルニーニョ年の平年偏差の合成、帯状平均場、1958/59～2012/13年の統計）

1～3月、上：気温、下:東西風　　6～8月、上：気温、下:東西風

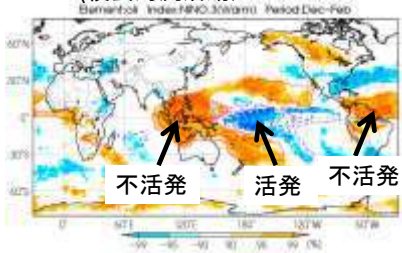


エルニーニョ現象の年には、熱帯対流圏で昇温（冬）、中緯度で降温、ハドレー循環強化、亜熱帯ジェット気流の強化（赤道寄り）、中緯度偏西風の弱化（冬）、極渦の弱化（北半球冬）

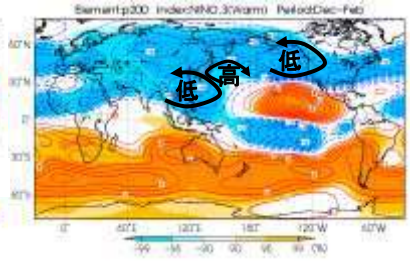
エルニーニョ現象の大気への影響

（エルニーニョ年の平年偏差の合成図、北半球冬（12～２月）、1958/59～2012/13年、OLRは1978/79～2012/13年）

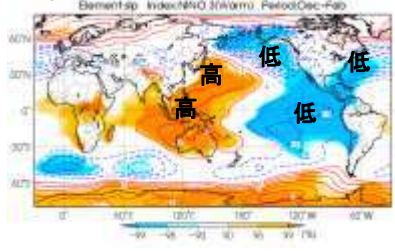
OLR(積雲対流活動)



200hPa流線関数（対流圏上層の大気の流れ）



海面気圧



a)熱帯域における積雲対流活動の偏り（大気加熱の偏り）。

b) a)に対応して、北半球中緯度では、対流圏上層に、低・高・低気圧性の循環の偏りができる。

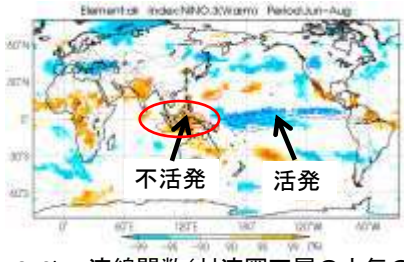
c)日本付近では、「西高東低」の冬型の気圧配置が弱まる。

22

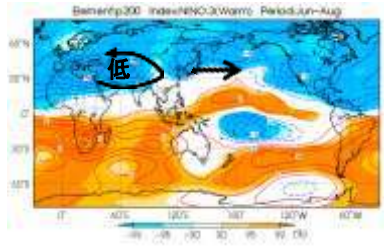
エルニーニョ現象の大気への影響

（エルニーニョの平年偏差の合成図、北半球夏（6～8月）、1958～2012年、OLRは1979～2012年）

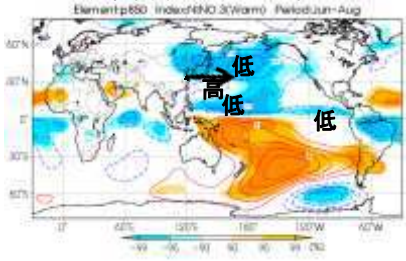
OLR(積雲対流活動)



200hPa流線関数（対流圏上層の大気の流れ）



850hPa流線関数（対流圏下層の大気の流れ）



a)熱帯域における積雲対流活動の偏り

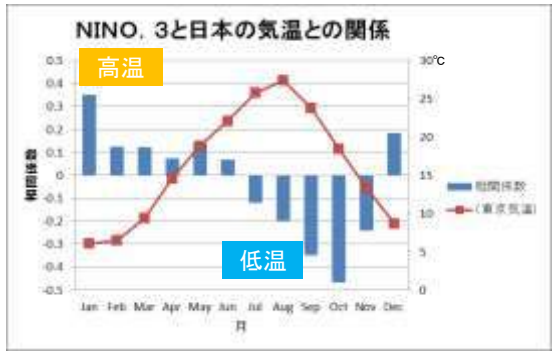
b) a)に対応して、北半球中緯度では、チベット高気圧の弱まり、亜熱帯ジェット気流の南偏など。

c)日本付近は、偏西風の影響を受けやすい。また、太平洋高気圧の張り出しが弱い。

23

エルニーニョ/ラニーニャ現象と日本の天候（統計）

〇エルニーニョ（ラニーニャ）現象は季節変化の振幅を小さく（大きく）する傾向
〇エルニーニョ現象：暖冬冷夏の傾向、ラニーニャ現象：寒冬暑夏の傾向



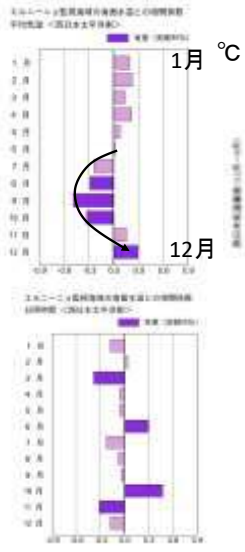
〇しかし、エルニーニョ現象だから必ず冷夏・暖冬というわけではない。統計的に有意かどうか、といったところ。

棒グラフは、NINO.3と日本気温との月別の相関係数。1959～2012年の統計。日本気温は、1898年以降観測を継続している気象観測所の中から、都市化による影響が少なく、特定の地域に偏らないように選定された以下の15地点で平均した月平均気温データ。網走，根室，寿都（すっつ），山形，石巻，伏木（高岡市），飯田，銚子，境，浜田，彦根，宮崎，多度津，名瀬，石垣島。地球温暖化などによる長期的な変化傾向を除去してある。折れ線グラフは東京の月平均気温

24

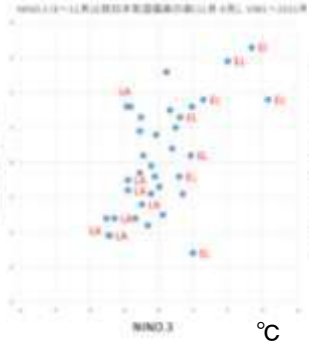
エルニーニョ/ラニーニャ現象と日本の秋の天候（統計）

NINO.3と（上）月平均気温、（下）月日照時間との相関係数1958～2012年

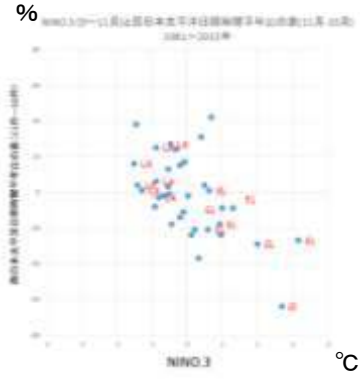


西日本太平洋側、秋の天候。1981～2015年

NINO.3と11月と9月の気温平年偏差の差



NINO.3と11月と10月の日照時間平年比の差



EL：エルニーニョ現象発生年、LA:ラニーニャ現象発生年

エルニーニョ現象発生年は、「秋が長い傾向」

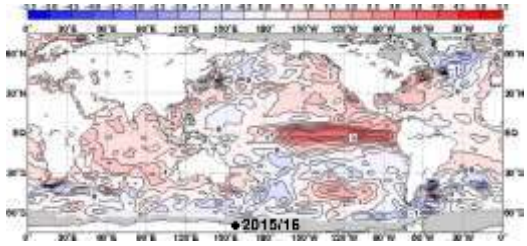
エルニーニョ現象発生年は、「10月（好天）と11月（悪天）の天気の違いが大きい」

3. 2014～16年のエルニーニョ現象とその影響

26

今回のエルニーニョ現象　“Strong El Nino“

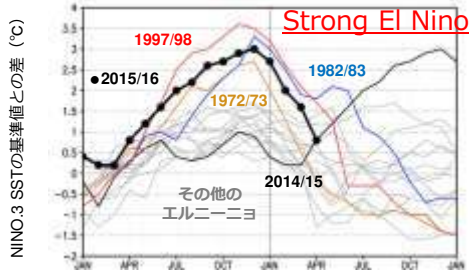
2015年12月の海面水温偏差（℃）（ピーク時）



エルニーニョ監視海域
（NINO.3）
5S-5N, 150-90W

NINO.3 の比較
1949年以降の
エルニーニョ現象
2015年12月　：+3.0℃

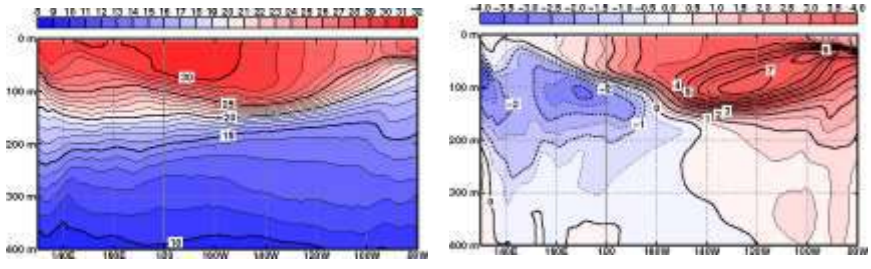
1997/98の最大値：+3.6℃
1982/83の最大値：+3.3℃
1972/73の最大値：+2.7℃



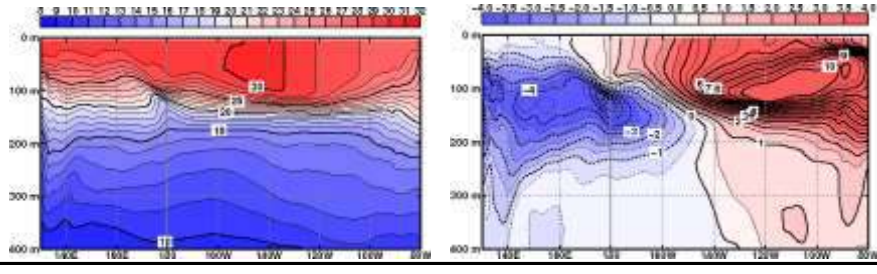
安田氏提供　　エルニーニョ現象発生1年目　　2年目　　27

今回のエルニーニョ現象　“Strong El Nino“

2015年11月の赤道域の表層水温（左）と平年偏差（右）（℃）



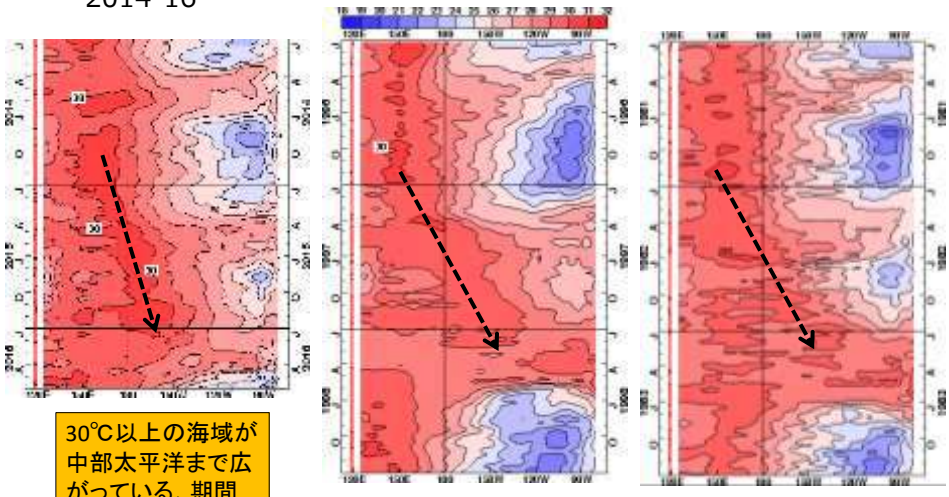
1997年11月の赤道域の表層水温（左）と平年偏差（右）（℃）



三大エルニーニョ現象の比較

赤道太平洋に沿った時間経度断面、3年分 海面水温（℃）

2014-16　　1997-98　　1982-83

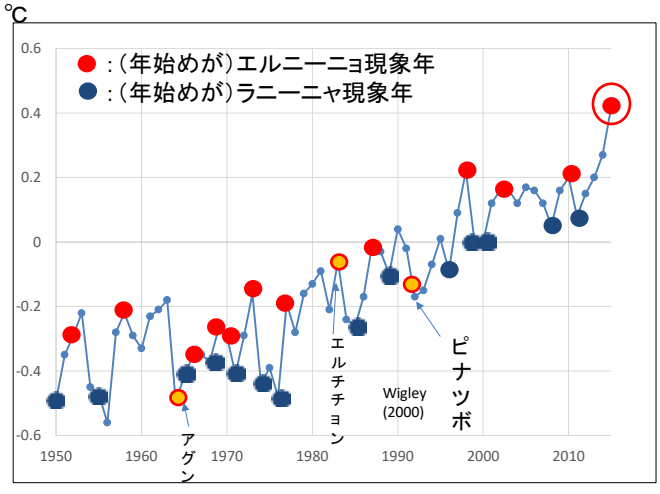


30℃以上の海域が中部太平洋まで広がっている、期間が長い

29

エルニーニョ現象の大気への影響（全球平均）

～世界の年平均気温偏差（1981-2010年の30年平均からの差、1950～2015年）～



（年始めが）エルニーニョ現象の年には、全球年平均気温が高い。

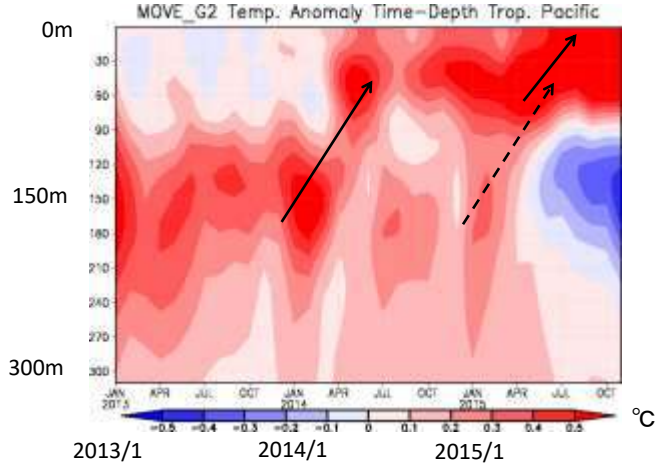
Trenberthら(2002)によれば、月NINO3.4が標準偏差分上がれば、月気温はそれに4カ月遅れで0.06℃の上昇。

＊気温のデータは気象庁HPより

30

太平洋熱帯域の表層水温

太平洋熱帯域（20N – 20S / 120E – 60W）で平均した水温（MOVE-G2）偏差の深度－時間断面図

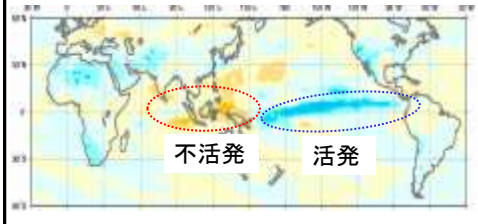


エルニーニョ現象に伴い、2014年から水深60m以浅のごく表層で昇温。

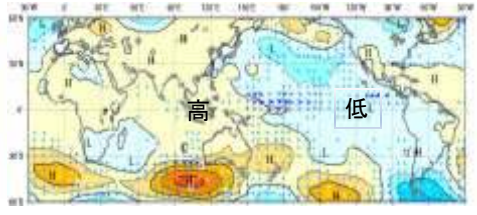
ト部氏提供

北半球夏（6-8月平均）循環場

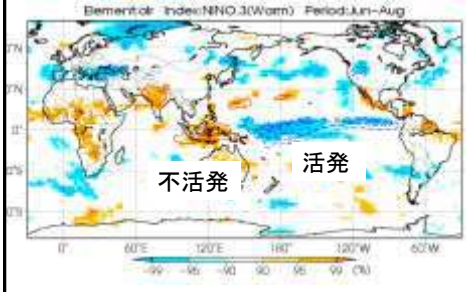
OLR（積雲対流活動の指標）（2015年）

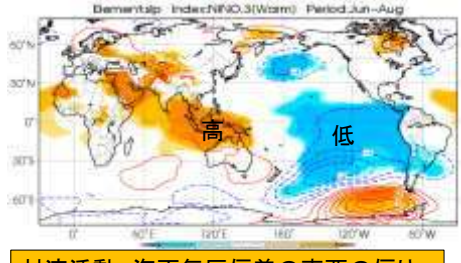


海面気圧平年偏差(2015年)



エルニーニョ現象発生年の平均



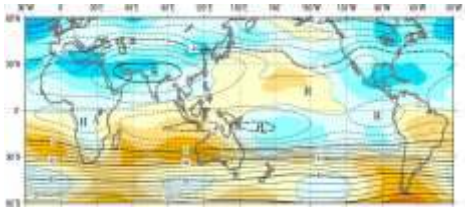


対流活動、海面気圧偏差の東西の偏り

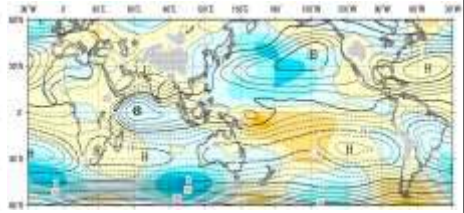
32

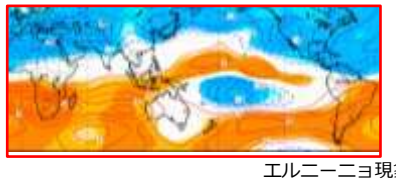
北半球夏（6-8月平均）循環場

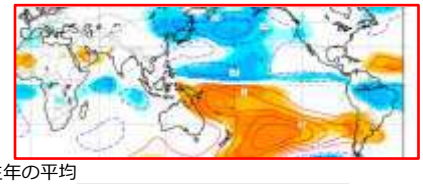
対流圏上層の大気の循環(2015年)



対流圏下層の大気の循環(2015年)







エルニーニョ現象発生年の平均

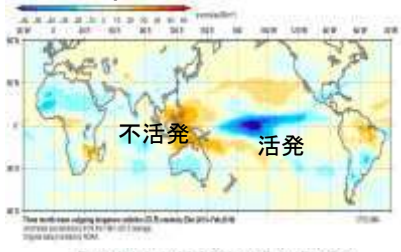
上層のチベット高気圧の弱まり

下層の太平洋高気圧の弱まり

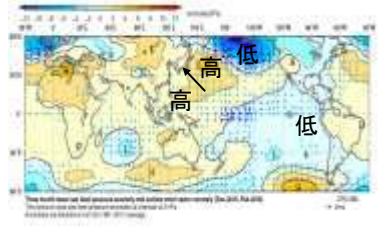
33

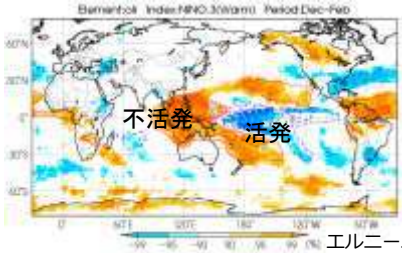
北半球冬(12-2月平均）循環場

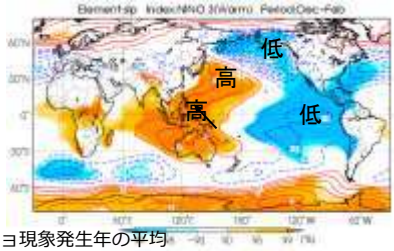
OLR（積雲対流活動の指標）(2015/16年)



海面気圧平年偏差(2015/16年)







エルニーニョ現象発生年の平均

対流活動、海面気圧偏差の東西の偏り、冬型の気圧配置の弱まり

34