

Understand the Role of Ocean in Global Warming

杨海军 温琴

北京大学气候与海-气实验室

北京大学物理学院大气与海洋科学系

Email: hjyang@pku.edu.cn



LaCOAS

北京大学气候与海-气实验室

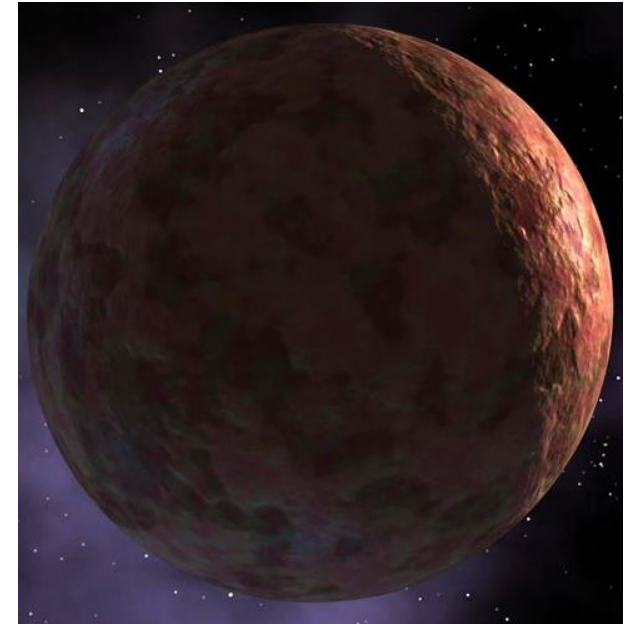
勤能补拙



Atmosphere + Ocean = Habitable Earth

A naked Rock

	Real	Estimated
◇ Mars	−53°C	−56°C
◇ Earth	+15°C	−18°C
◇ Venus	+430°C	+41°C



Atmosphere + Ocean = Habitable Earth

A Rock with still Air

	Real	Estimated
◆ Earth	+15°C	+67°C



Atmosphere + Ocean = Habitable Earth

A Rock with moving Air

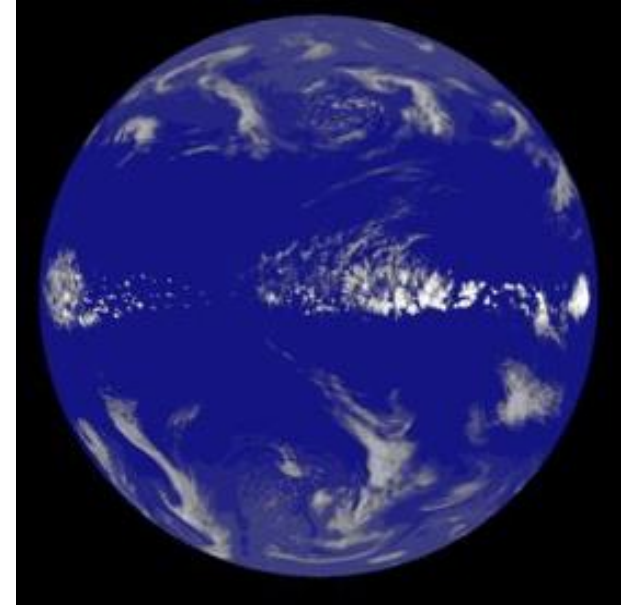
	Real	Estimated
◆ Earth	+15°C	<<67°C



Atmosphere + Ocean = Habitable Earth

A Rock with Air + Ocean

	Real	Estimated
◆ Earth	+15°C	~15°C



Atmosphere + Ocean = Habitable Earth

A Rock with Air + Ocean + Land

	Real	Estimated
◆ Earth	+15°C	+15°C



Ocean: Wonderful Earth



为什么要研究海洋？

- ◆ 超过62%的人口居住在离海岸线100km范围内，并且这部分人口增长率最快
- ◆ 超过50%的海岸线处于危险之中
- ◆ 海洋提供了人类大量的食物及矿产资源
- ◆ 人类活动产生大量的有毒或未经处理的污水及生活垃圾，对海洋造成严重污染，从而威胁海洋生态系统
- ◆ 海洋调节全球气候，海洋状态的变化将给人类难以预料的后果
- ◆ ...

郑和下西洋 (1405-1433)



郑和远航的“特混舰队”
郑和舟师的船舶形式多种多样,按功能分,有大宝船、分室宝船、马船、粮船、战船、水船等;按船型特征分,有楼船、沙船、广船等;按数量分,有2000料、1500料、400料、100料等;按推进方式分,有8桅12帆到3桅3帆或大八桅、二八桅、六桅等。数百年前,世界南方海域从来没有见过如此壮丽的景象,上百艘大船依次排开,上千面帆迎风招展,蔚蓝色的海面犹如春天开满鲜花的草原。

郑和： 远航于地理大发现前夕

撰文/周宁 制图/CNG影视中心 供图/杨恩璞等

探索郑和远航的意义,与其说是因为它在那个时代突然开始,不如说它在那个时代无端结束。1405年,郑和使团从明帝国的京城出发,其航行的距离几乎跨越地球的三分之一;另一段则留给了半个多世纪后的葡萄牙人。1498年,达伽马的舰队停靠在卡利卡特港,即当年郑和一再访问的古里。

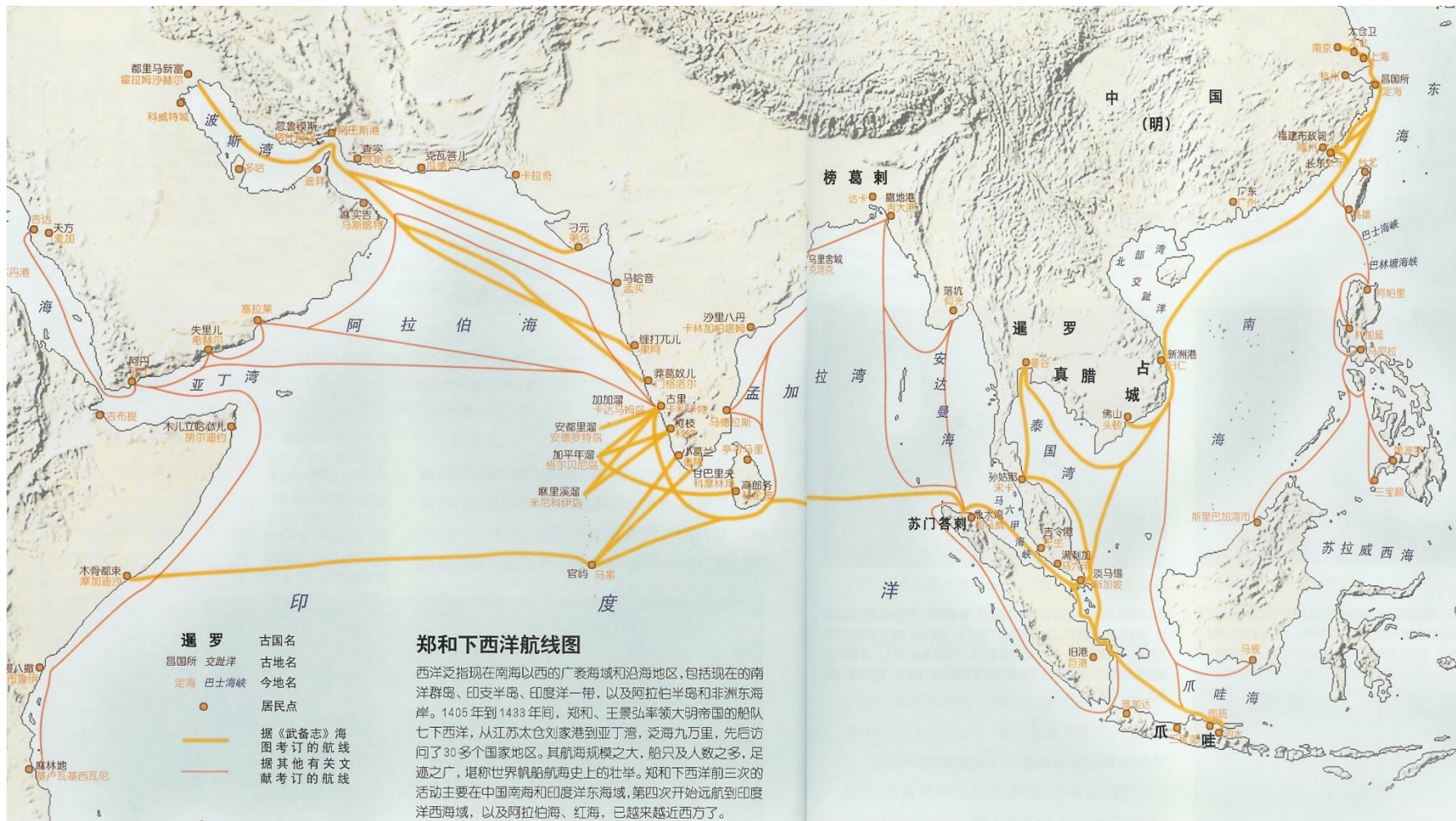
15世纪既是一个起点,也是一个终点:欧亚大陆两端,一个庞大的陆上帝国正在收缩,一个边远的小王国正在扩张,古里——卡利卡特,世纪初与世纪末,见证了世界历史上东西消长,大国兴衰的关键一幕。

纪念郑和航海600年,既是追忆一段历史,又是反思一种现实。因为郑和七下西洋,早已不是一段历史,而是一种文化象征,一个有多重含义的现代神话。

一切都从1405年开始,郑和七下西洋,那是一个大时代辉煌的结束。

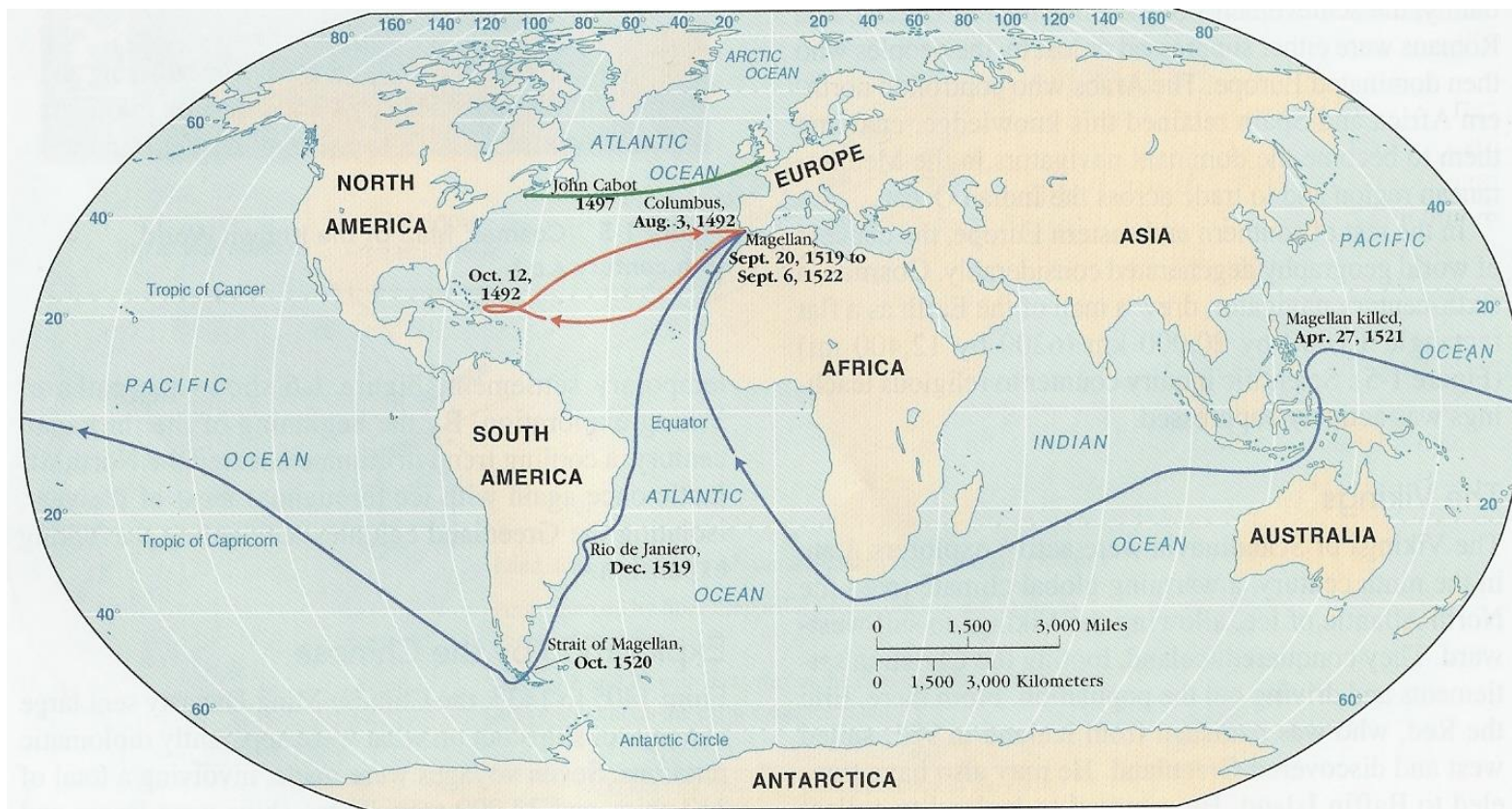
◆ “郑和：远航于地理大发现前夕”，作者：周宁，《中国国家地理》2005.4

郑和下西洋 (1405-1433)



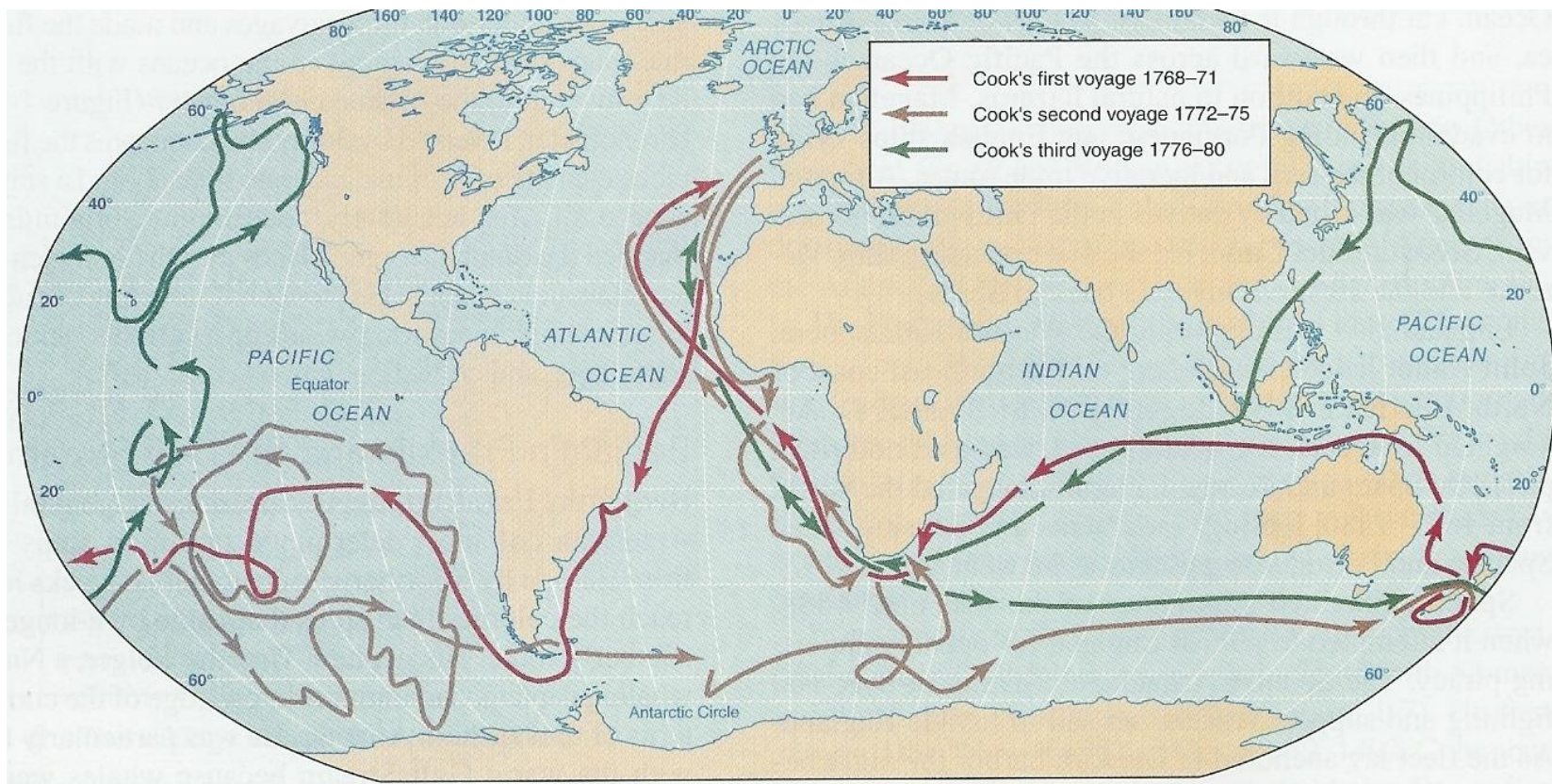
◆ 郑和航海路线。在28年间7下西洋，从江苏太仓刘家港到红海，泛海9万里，随从2.7万人，访问了30多个国家，以“示中国富强”。

哥伦布（1492） 麦哲伦（1519）



- ◆ 哥伦布1492年的航海给欧洲人打开了一个新世界；John Cabot发现了北美大陆；麦哲伦(在南美洲大陆南端和火地岛等岛屿之间,沟通太平洋和大西洋)完成了首次环球航行(1519.9.21—1522.9.6)

现代海洋学 (1720)



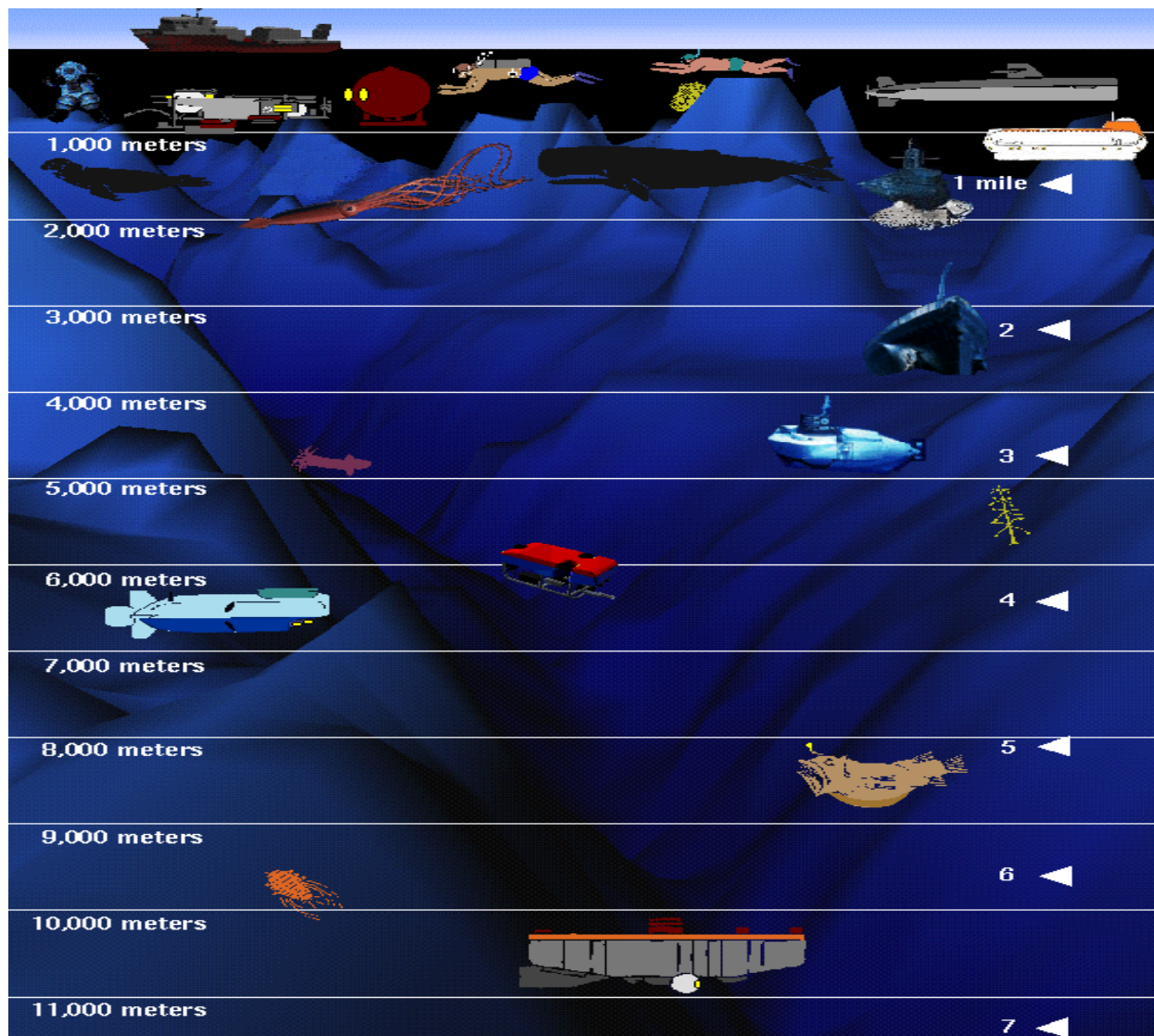
- ◆ 为保持海洋优势，英国开展了以科学发现和考察为目的的航海。英国人 James Cook(1728-1779)首先开展了三次航行，首次精确描绘出很多海岛如夏威夷群岛，开创性地测量了次表层的水温，测量风和海流，测量水下声音传播以及收集珊瑚礁数据。图为他的三次航海路线，海洋计时器的发明使他能精确测定经度。

早期海洋研究



收集生物样本图

海洋研究



- ◇ 目前人类所能承受的最大压力深度约为686m
- ◇ Alvin的最大潜水深度为4000m，大约能探测全球40%的海底
- ◇ Sea Cliff II的操作极限为6000m
- ◇ 日本的Shinkai 6500的操作深度为6500m，可以探测97%的全球海洋
- ◇ Trieste能下潜到10915m(马里亚纳海沟)，但是它无法移动，目前已不再使用

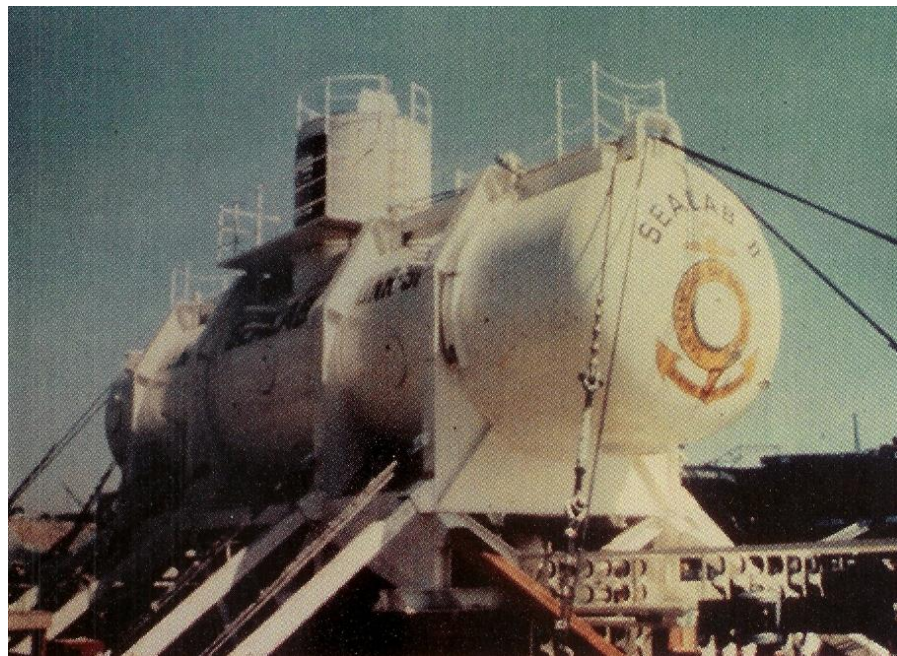
<http://www.oceanexplorer.noaa.gov/>

海洋观测研究

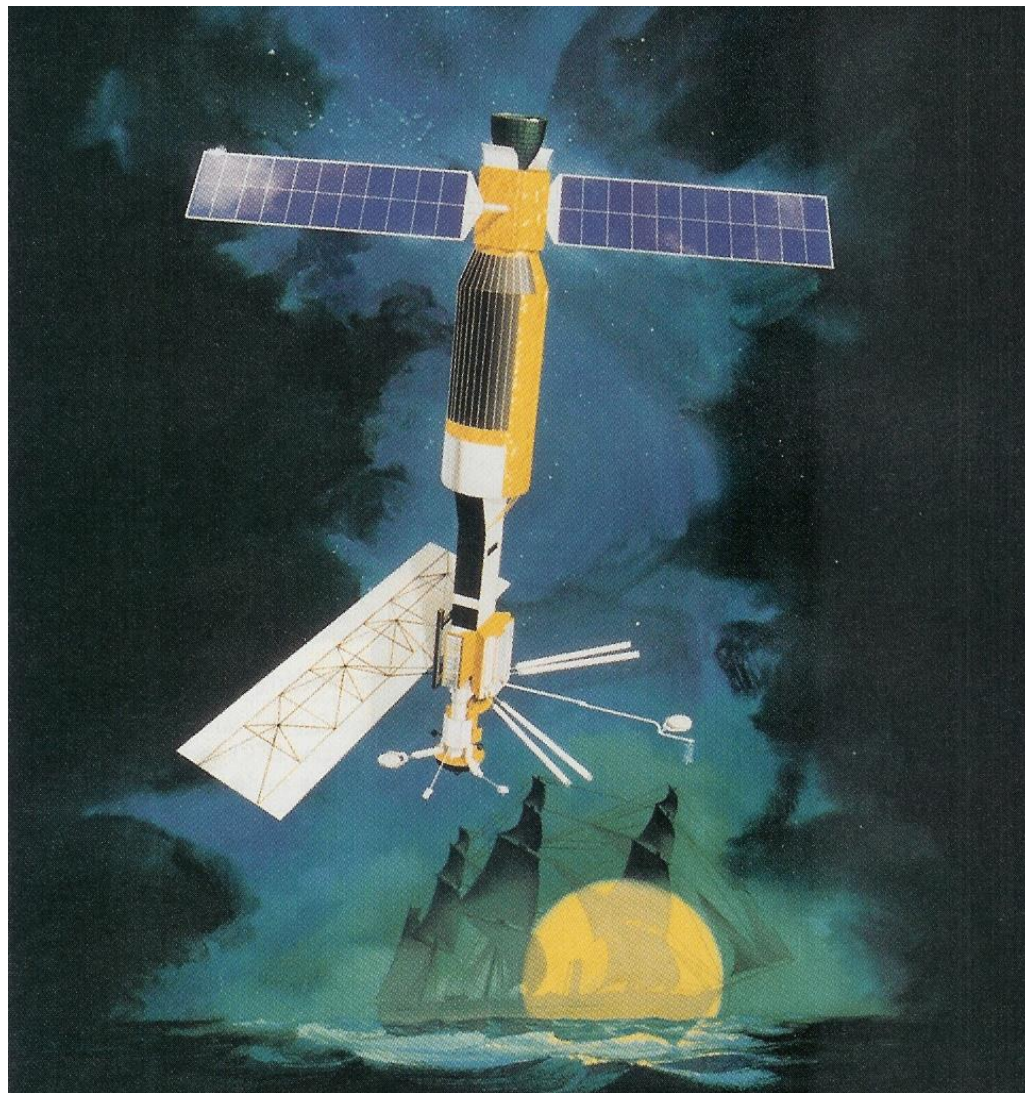


- ◆ ABE—新一代无人驾驶海底探测工具，与海面无绳索相连，能在海底连续工作数月以收集数据。由WHOI开发。

- 水下生活仓：可置于海底或悬浮于水中，仓内气体由氧气和氮气组成，气压保持与同等深度的水压平衡，因此，打开仓门并不会导致海水的涌入。



海洋观测研究

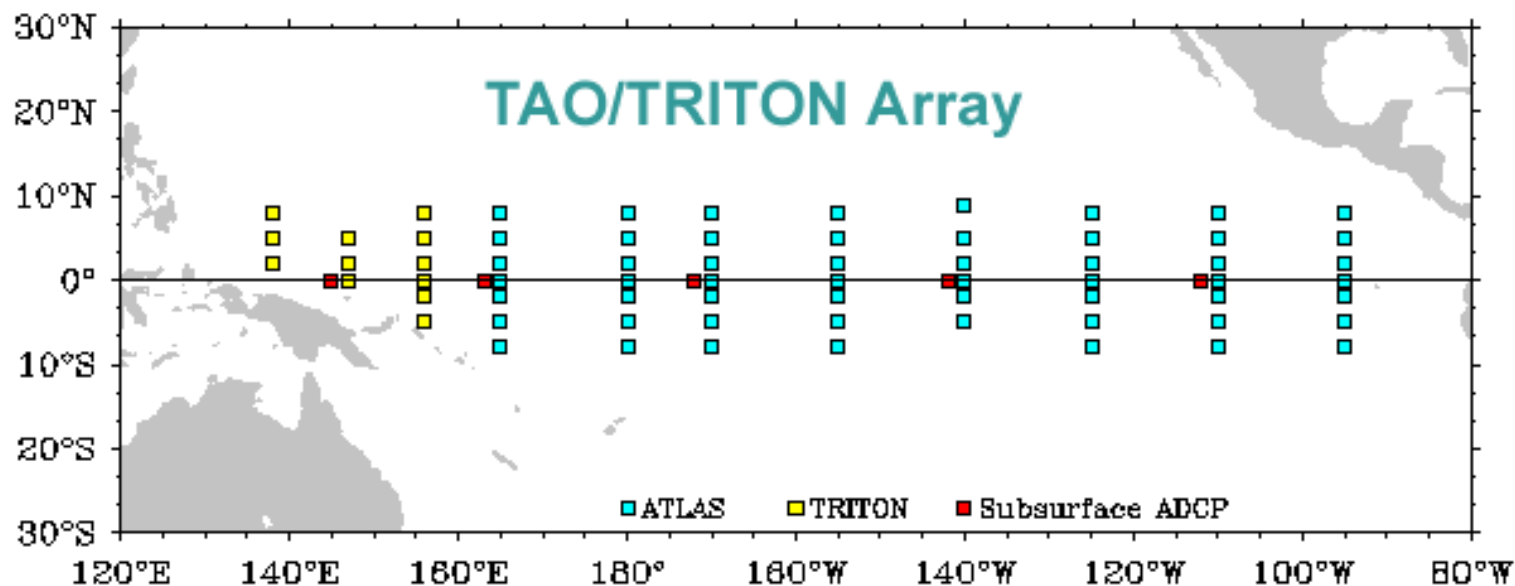


- ◆ 第一颗海洋遥感卫星发射于1978年7月7日，坠落于同年10月10日。尽管时间很短，但提供了足够证据证明了它对海洋学的价值，开创了从太空探测海洋的新纪元

海洋观测研究



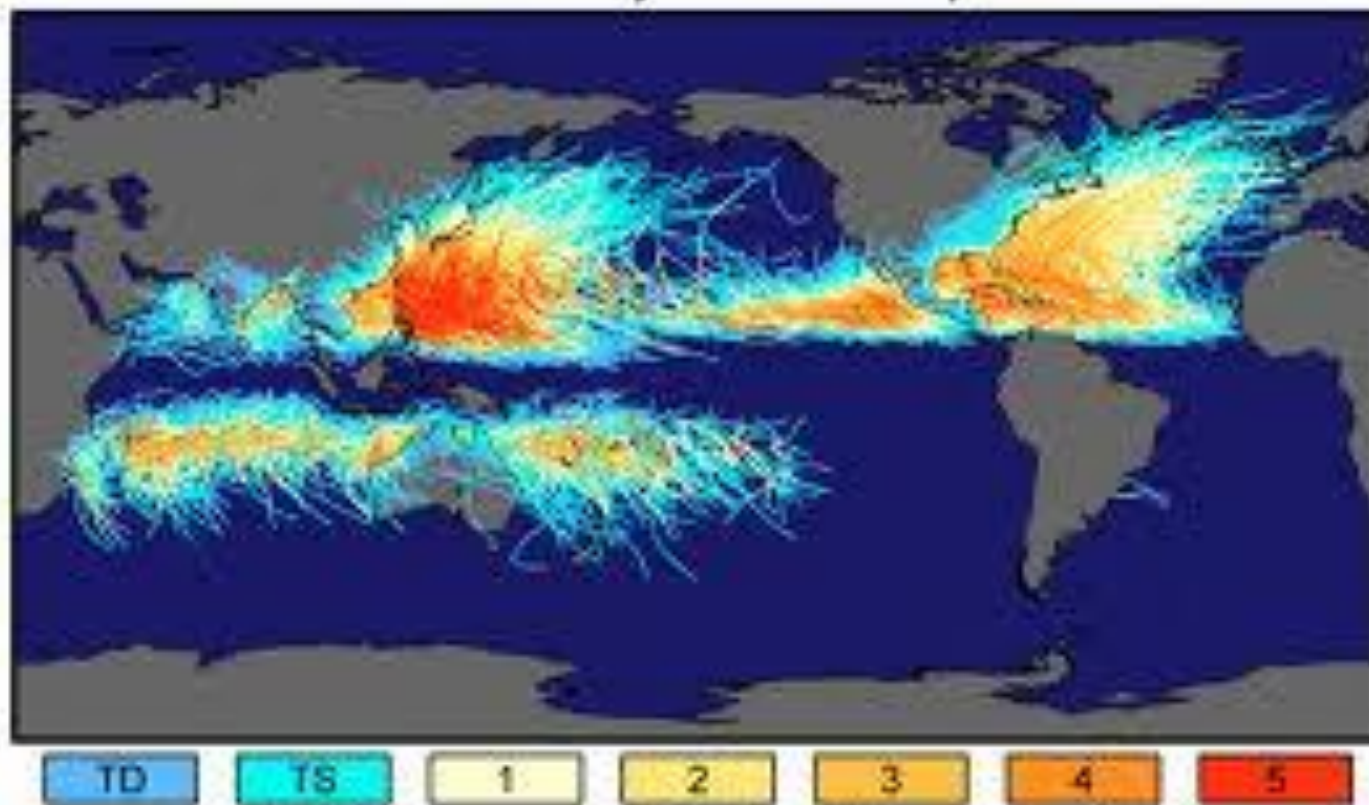
海洋观测研究



- ◆ 起因于1982-1983的强El Nino事件
- ◆ 用10年时间才完成(1984—1994)，整个矩阵包括70个定点浮标，超过400个移动浮标。共进行了83个航次，涉及到6个国家
- ◆ 提供对热带太平洋连续的观测：风、气温、相对湿度、海面水温、500m以上次表层水温及海流速度等等
- ◆ http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/flash/mainDOC.html

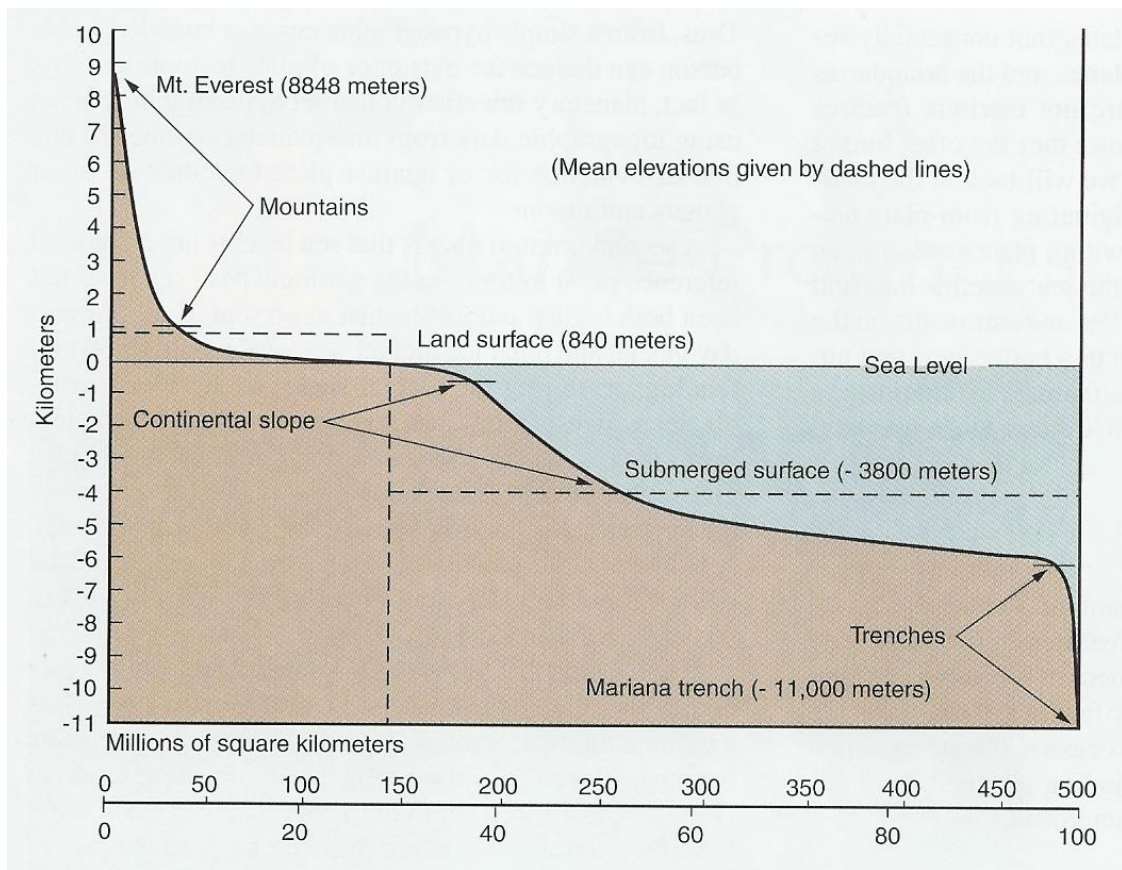
热带风暴

Tracks and Intensity of All Tropical Storms



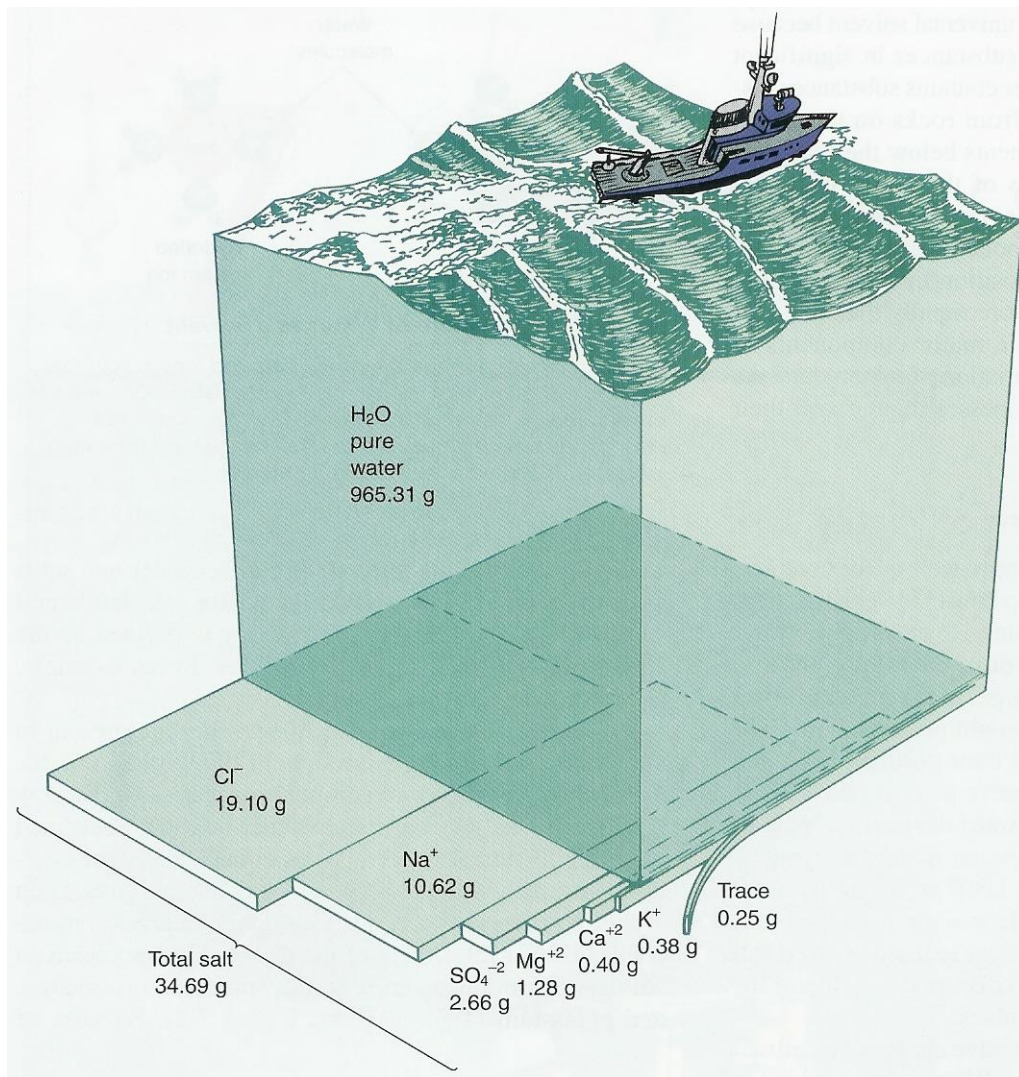
Saffir-Simpson Hurricane Intensity Scale

海陆对比



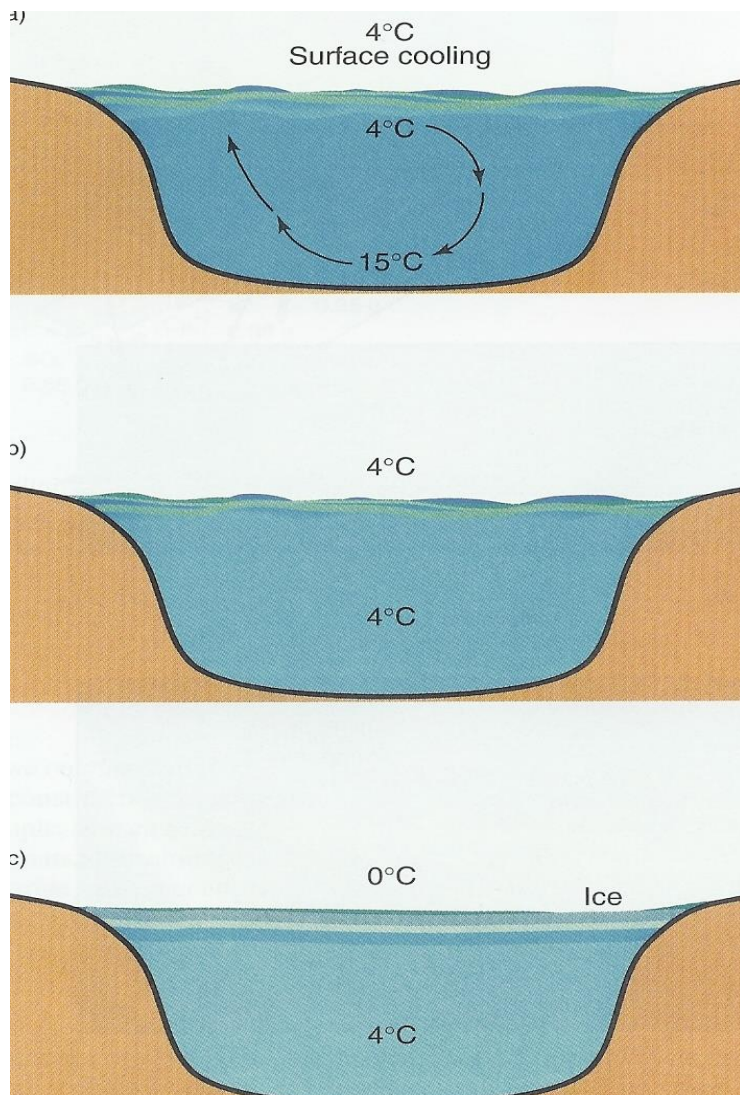
- ◆ 地表高程曲线。图示不同高度或深度地球表面所占面积。水平虚线表示海平面以上地球陆地平均高度为840m，海洋的平均深度为3800m。垂直虚线表示目前海陆分布面积的划分。

海水成分



- ◆ 海水是咸的!
- ◆ 海水平均盐度约为35‰，即1000克海水中含有35克盐分

水的一个特殊属性



- ◆ 水在4°C时密度最大，由水分子结构决定。因此水在密度最大时仍然为液态
- ◆ 水的特殊性质对海洋环流形成，以及对海洋所有生命的生存极其重要


地球上到底有多少水？



- ◇ **Biggest:** all water in everything. $d=1384$ km, $v=1.386E9$ km³
- ◇ **Small:** liquid fresh water. $d=272.8$ km, $v=1.06E7$ km³
- ◇ **Tiny:** water in lakes and rivers. $d=56.2$ km, $v=9.3E4$ km³

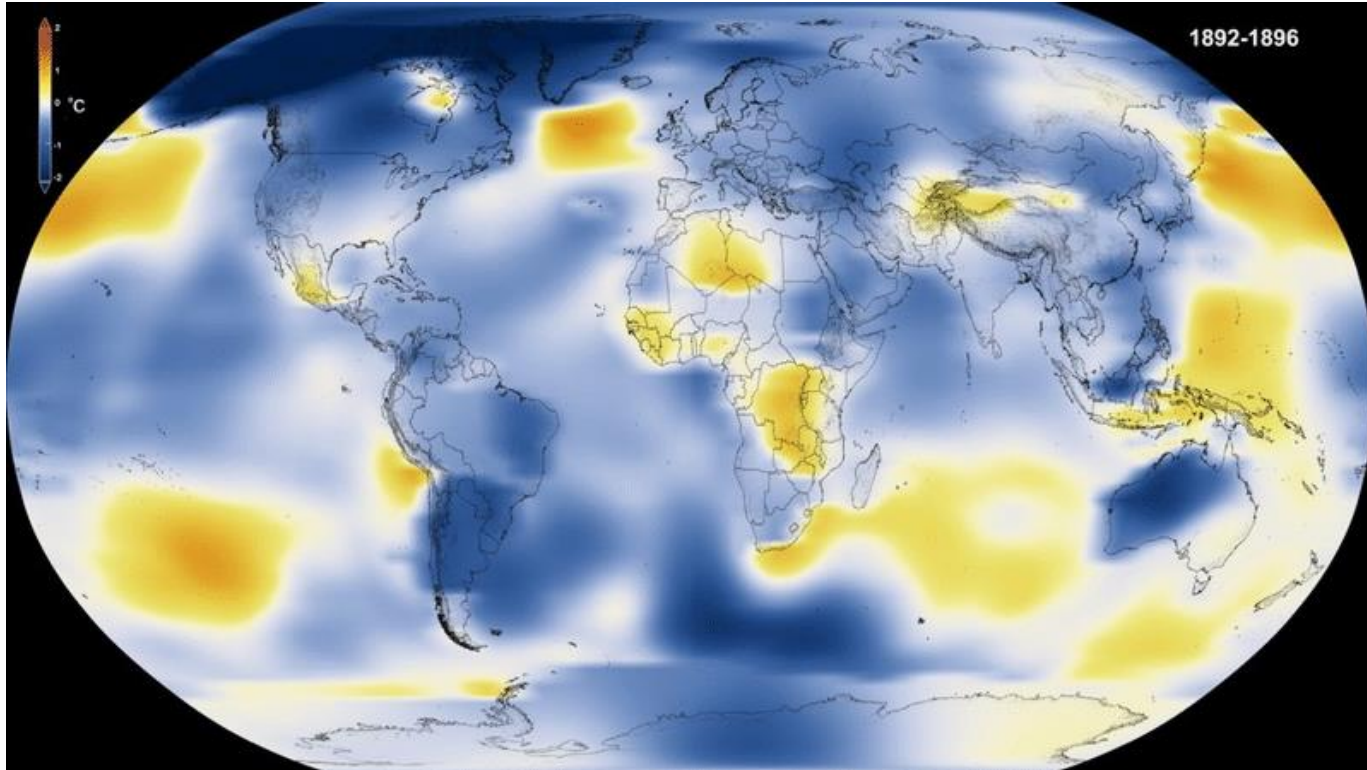
<http://ga.water.usgs.gov/edu/2010/gallery/global-water-volume.html>

建立了海洋波动振荡海盆模理论

- 海盆模  洗脸盆的水波
- 模型简单：浅水方程
- 难点：大规模的稀疏矩阵（10万×10万阶以上）



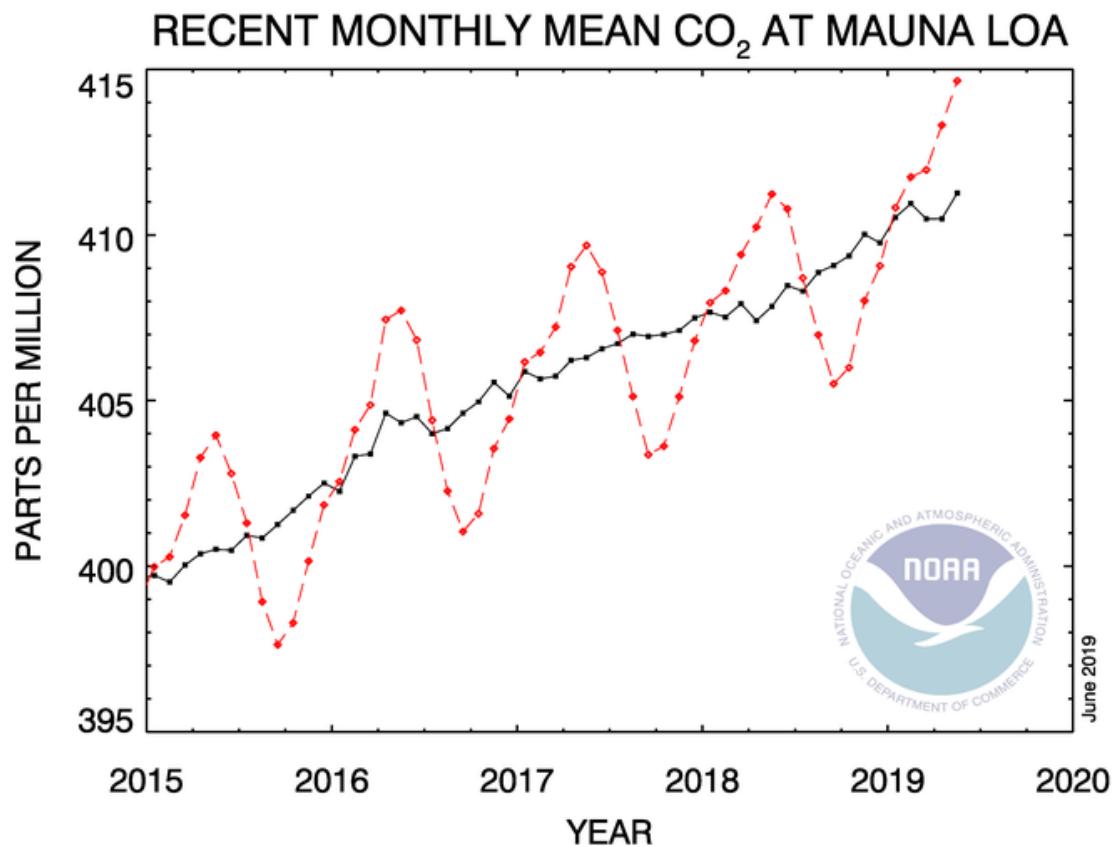
A Warming Climate



NASA/GSFC/Scientific Visualization Studio

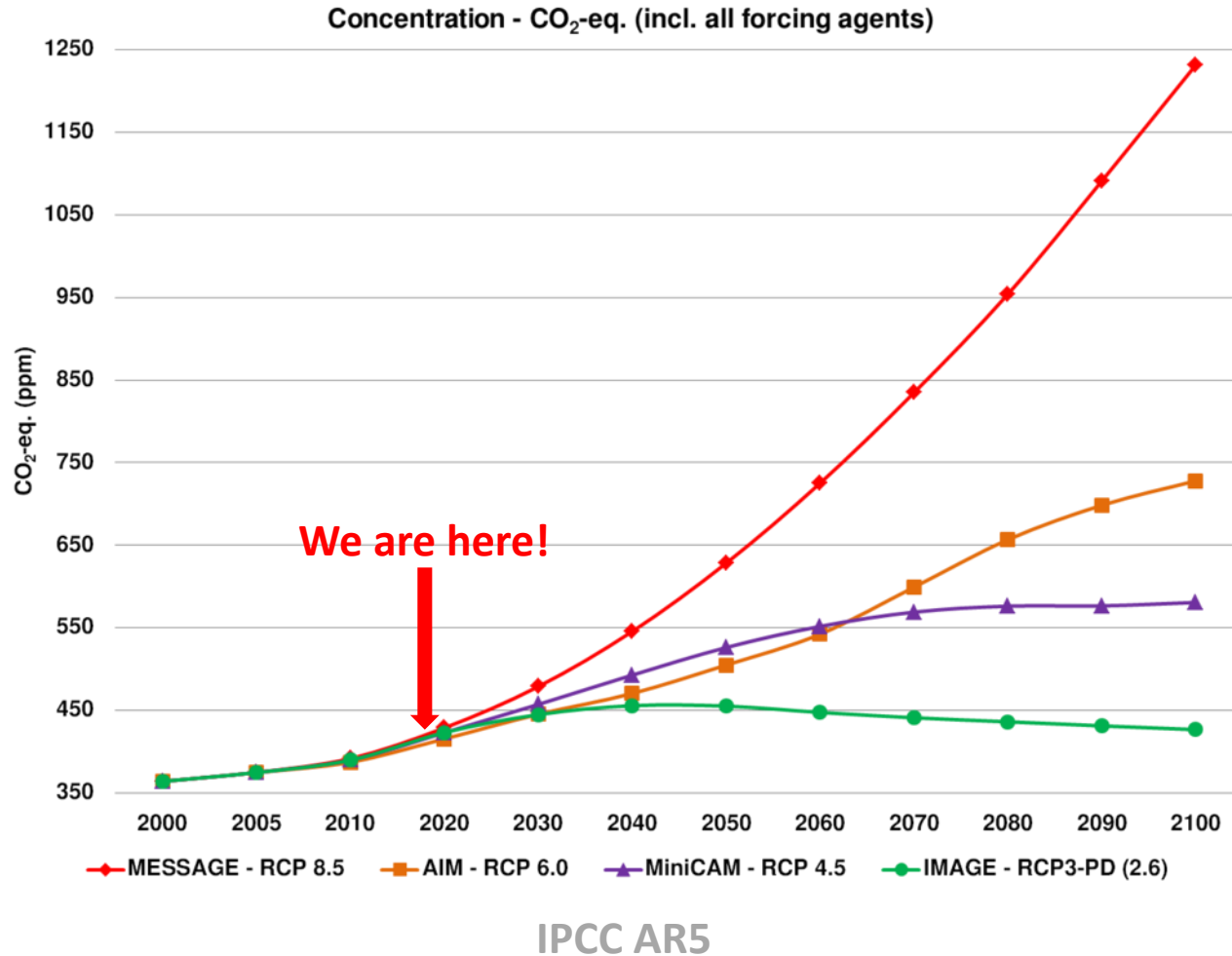
<https://www.giss.nasa.gov/research/news/20170118/2016gistempupdateblack.gif>

A Rapid Rising CO₂

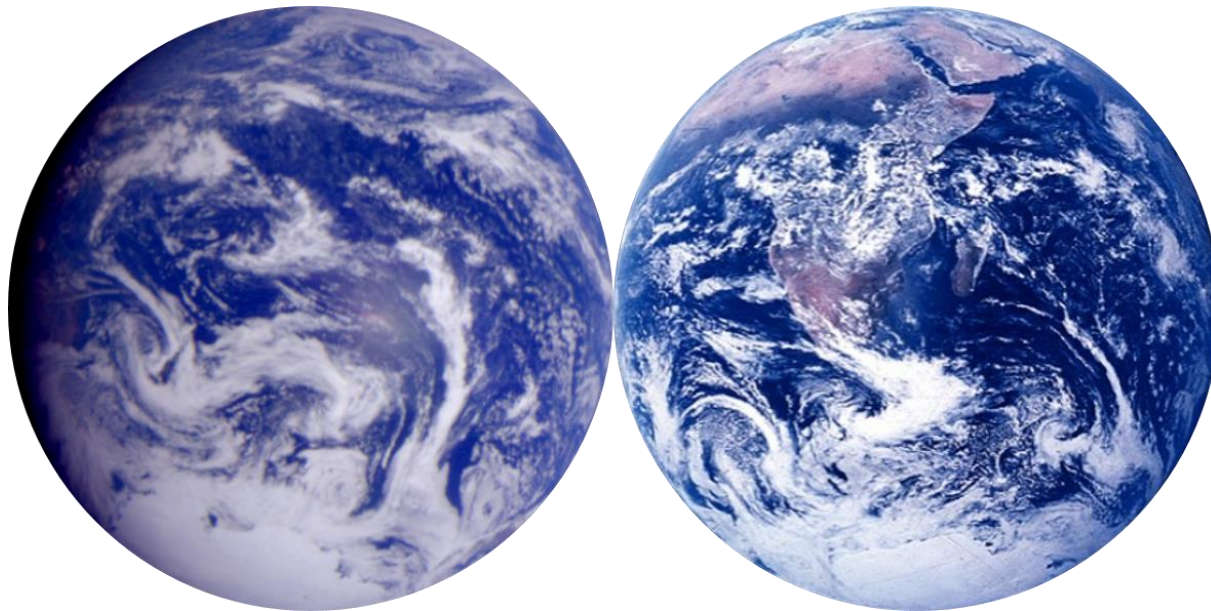


<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gr.html>

An Awful Future Projection ?



A Hope from the Ocean



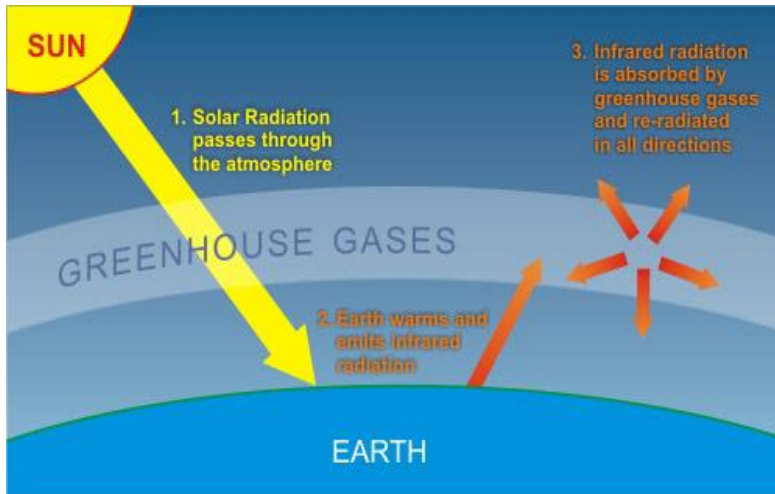
Aqua-Planet: 71% covered by ocean

Ocean: Buffering the Global Warming

Resulted from

Heating

Hosing



Decoding **Hosing** and **Heating** Roles in a **Warming** Climate

Water Role – A Fundamental

Lapse Rate



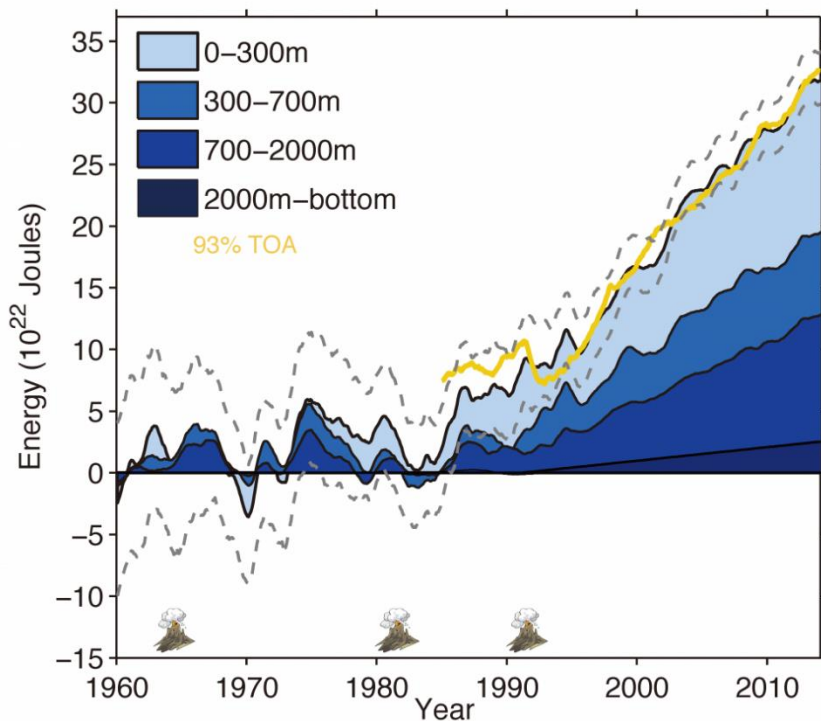
Dry Air: $\Gamma_d = g/c_p = 9.8$ °C/km

Wet Air: $\Gamma_w = \dots\dots = 6-7$ °C/km

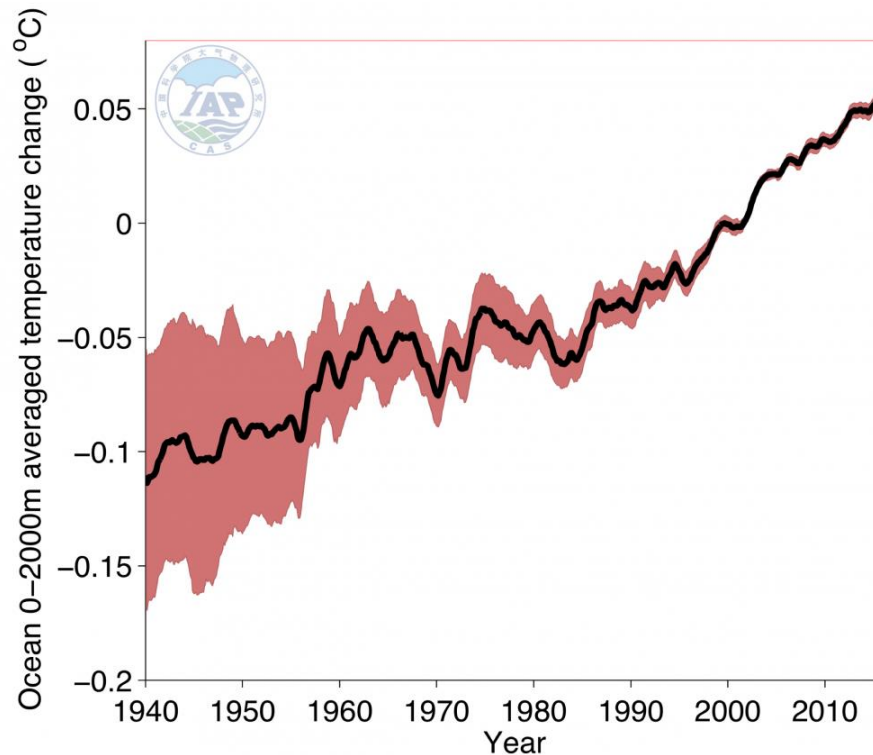
30%

Latent Heat: Solid $\xrightarrow{334\text{J/g}}$ Liquid $\xrightarrow{2260\text{J/g}}$ Gas

Ocean Heat Content Change

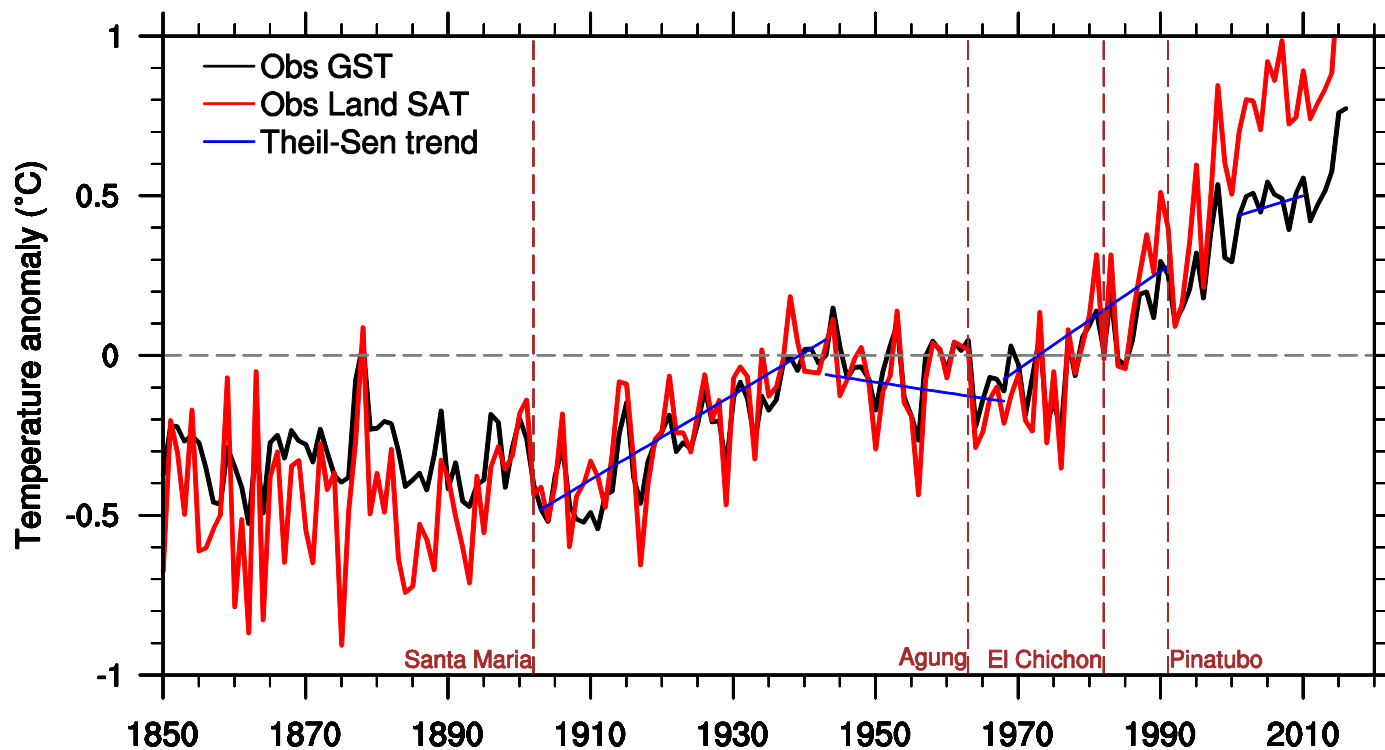


Ocean energy budget based on IAP ocean temperature analysis. The 93% of the energy imbalance observed from the top of atmosphere is shown in yellow. OHC change below 2000m is from Purkey and Johnson 2010. (contributed by L Cheng)

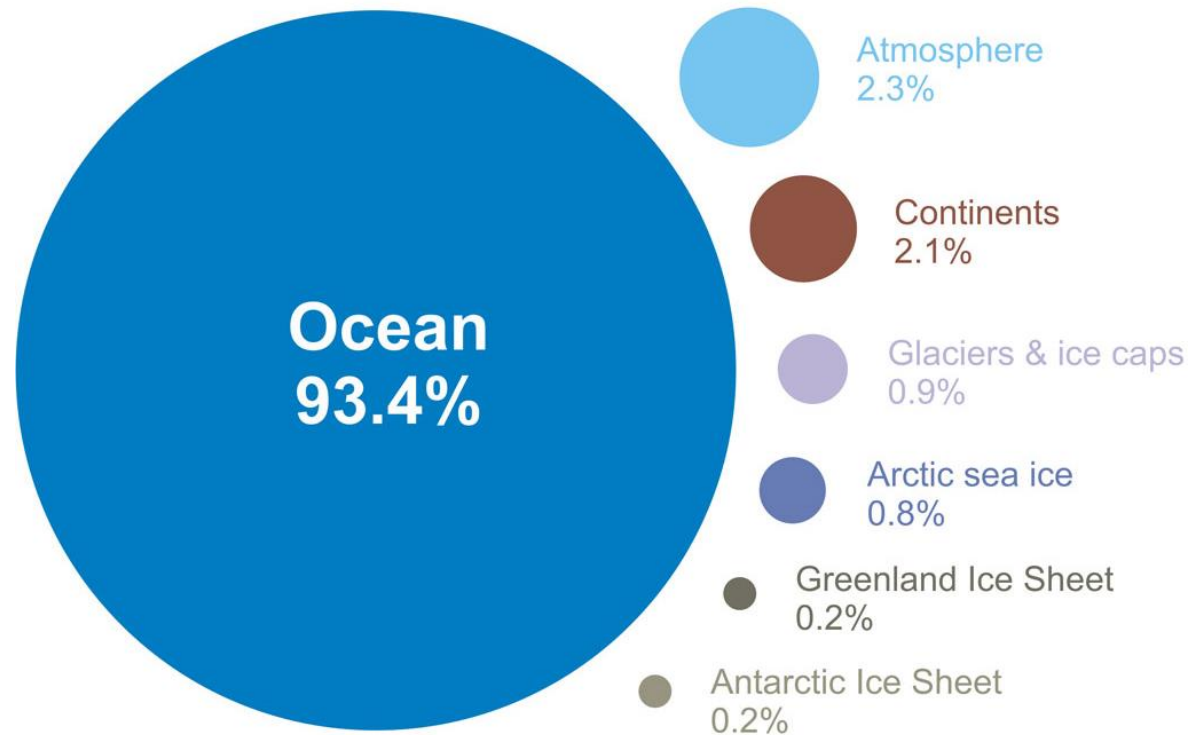


0-2000m averaged temperature change since 1940/01 to 2016/12 along with uncertainty estimates (95% confidence interval). (contributed by L Cheng)

Ocean Buffering the Surface Warming



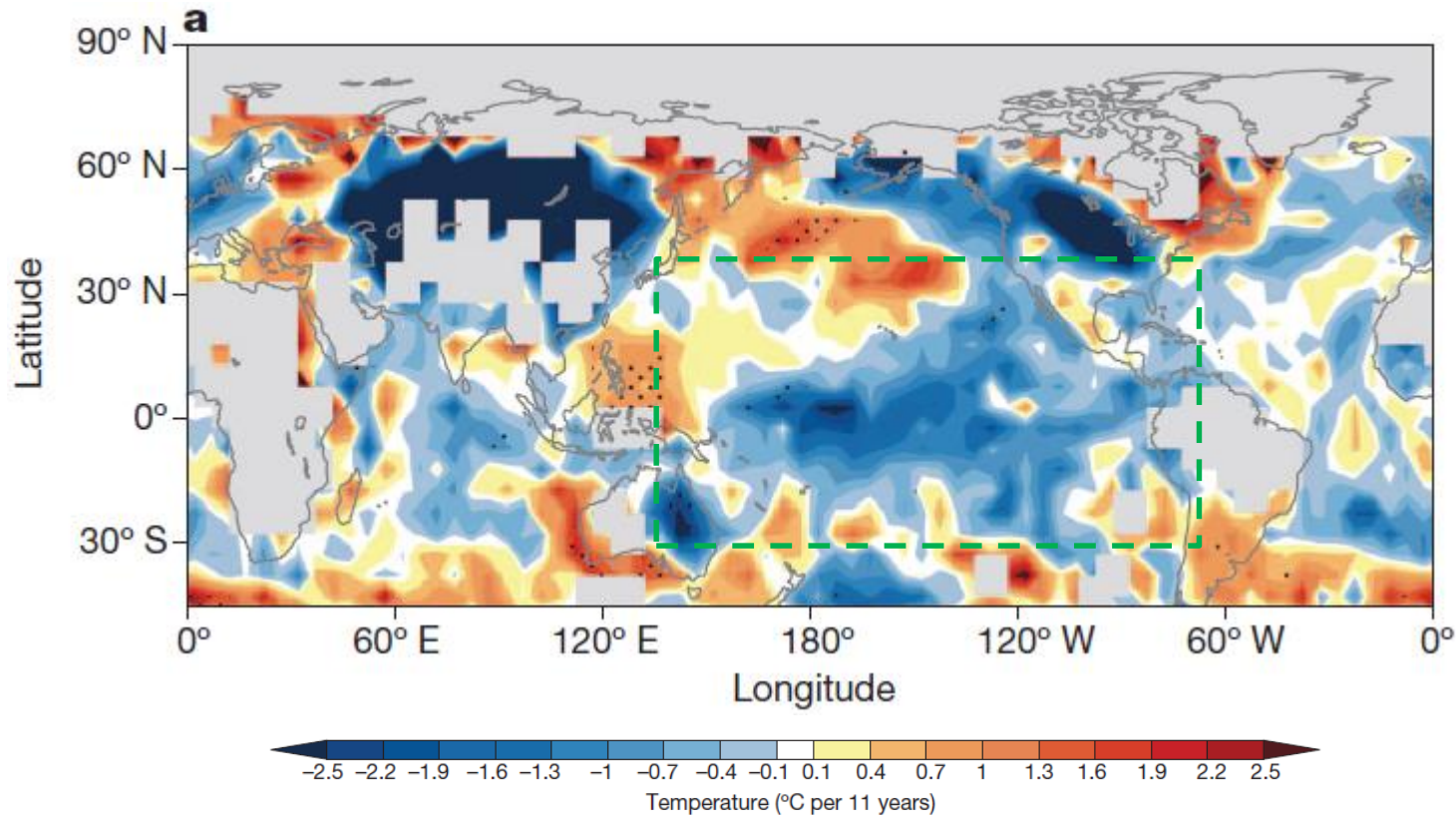
Where is Global Warming Going?



S. Levitus, J. I. Antonov, T. P. Boyer, O. K. Baranova, H. E. Garcia, R. A. Locarnini, A. V. Mishonov, J. R. Reagan, D. Seidov, E. S. Yarosh, and M. M. Zweng | published 17 May 2012

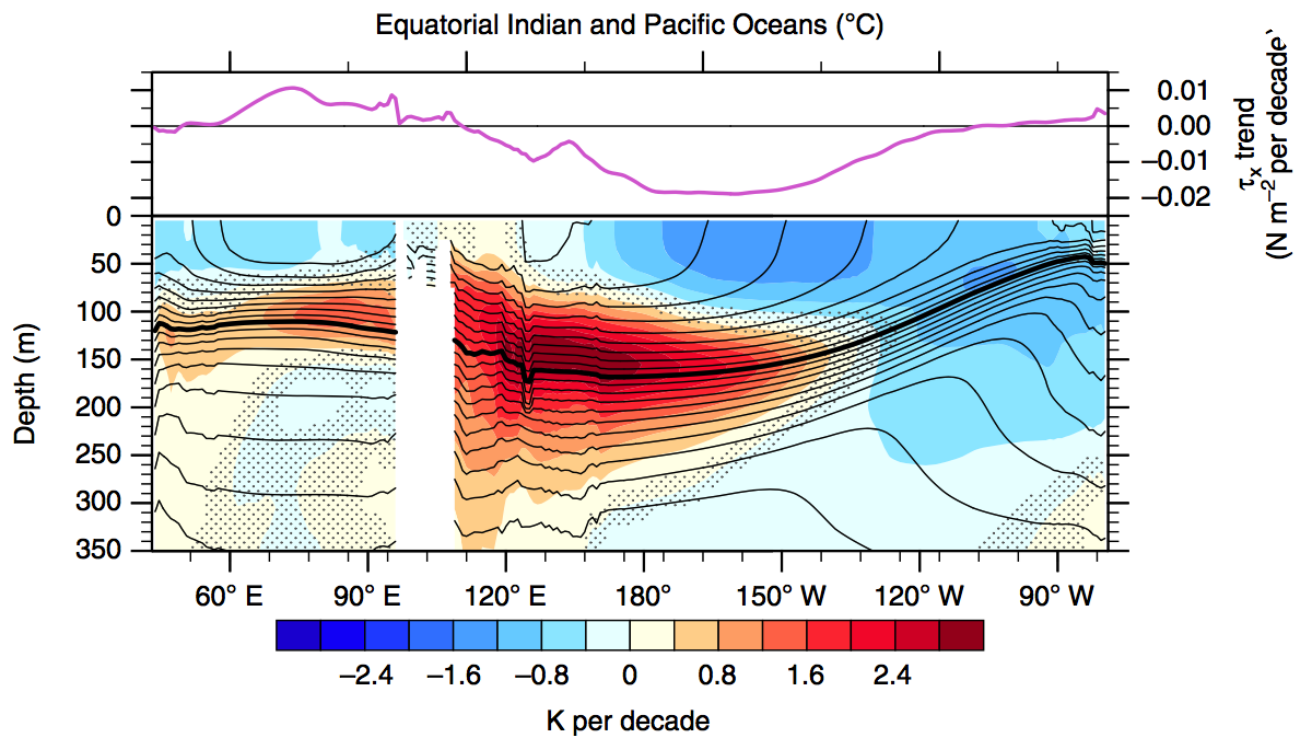
Where is Global Warming Going?

Pacific ?



Kosaka and Xie (2013); Xie et al. (2015); Meehl et al. (2011) ; Liu et al. (2016); etc..

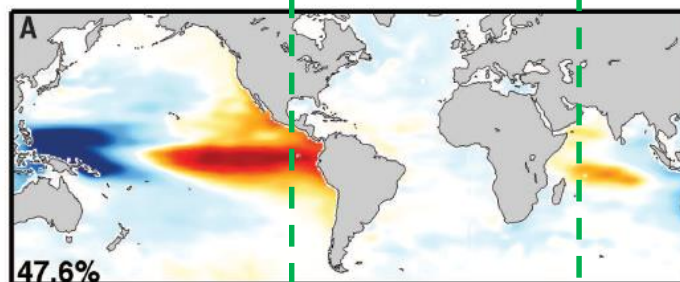
Where is Global Warming Going?



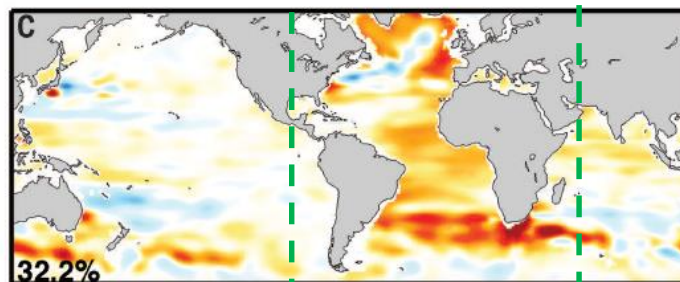
Liu et al. (2016)

Where is Global Warming Going?

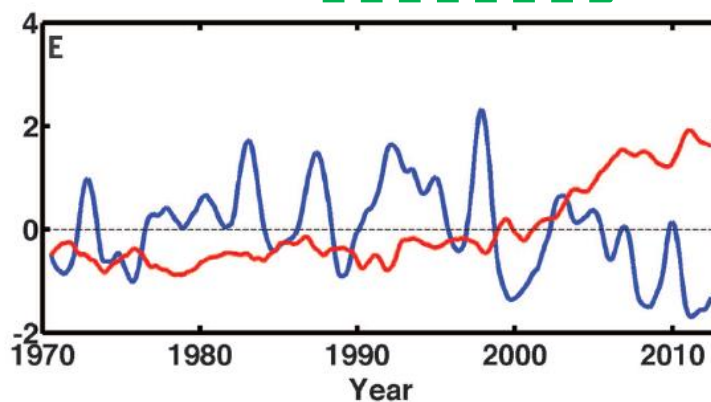
Atlantic?



Surface



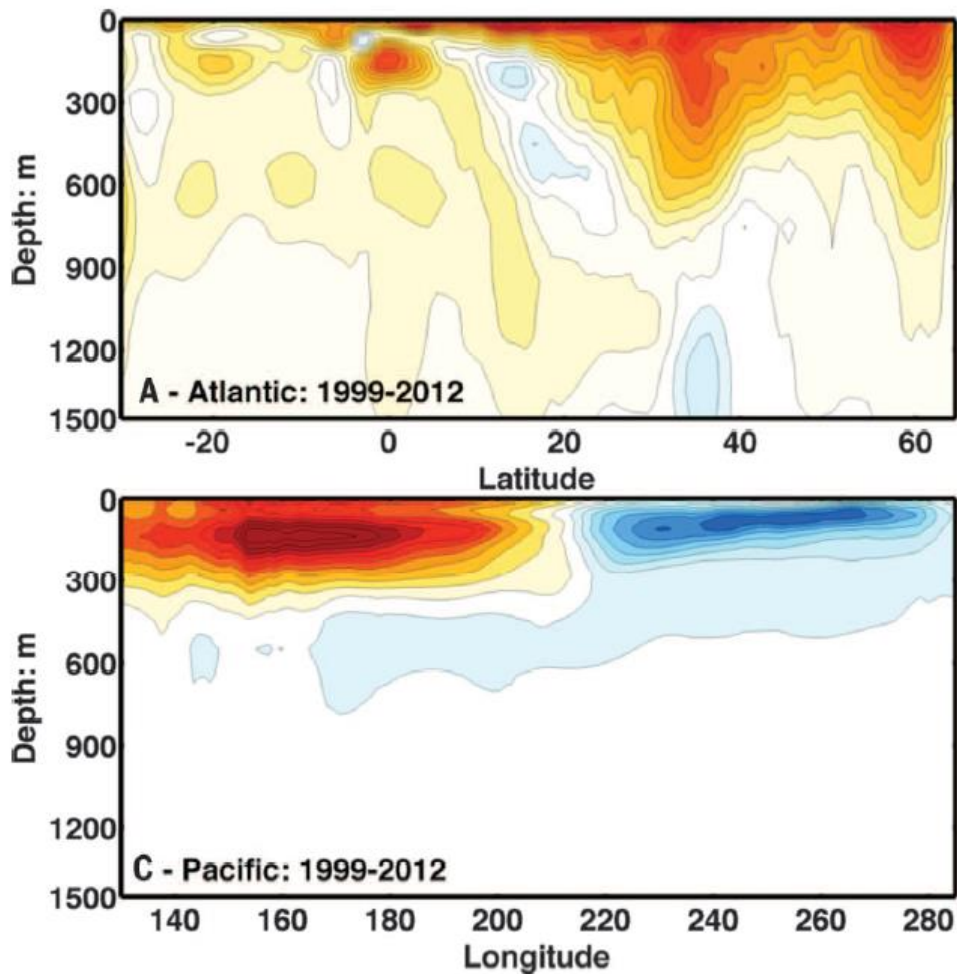
0-300m



Chen et al. (2014)

Where is Global Warming Going?

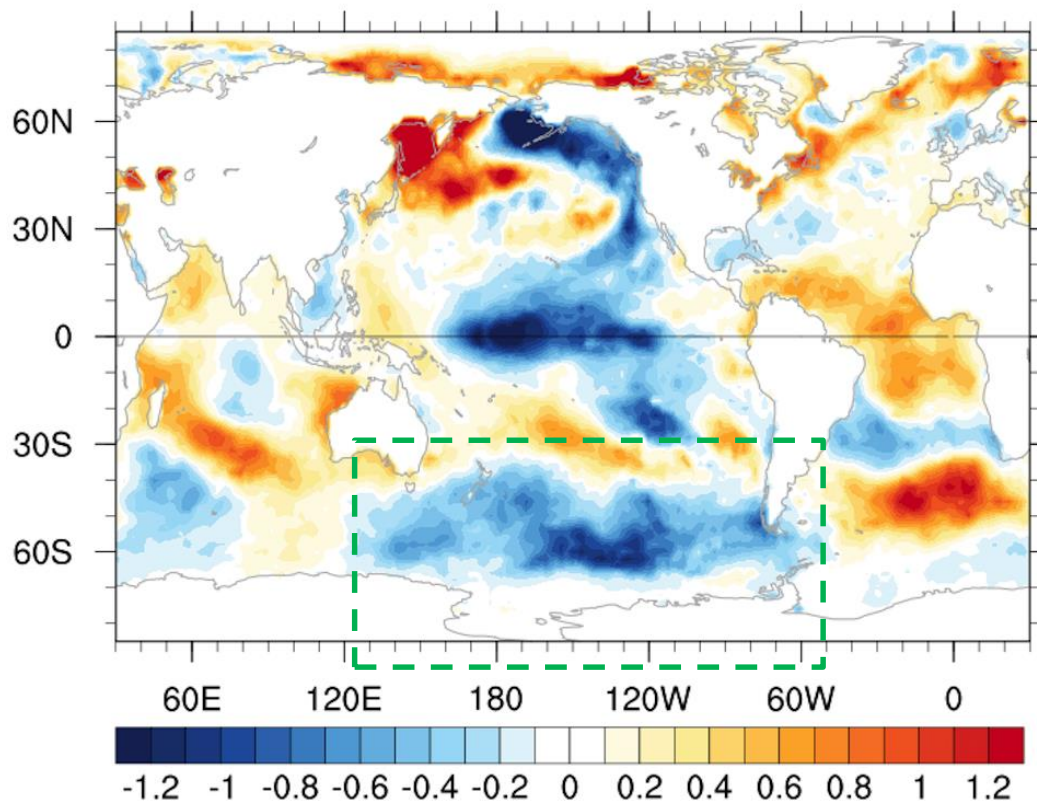
Atlantic?



Chen et al. (2014)

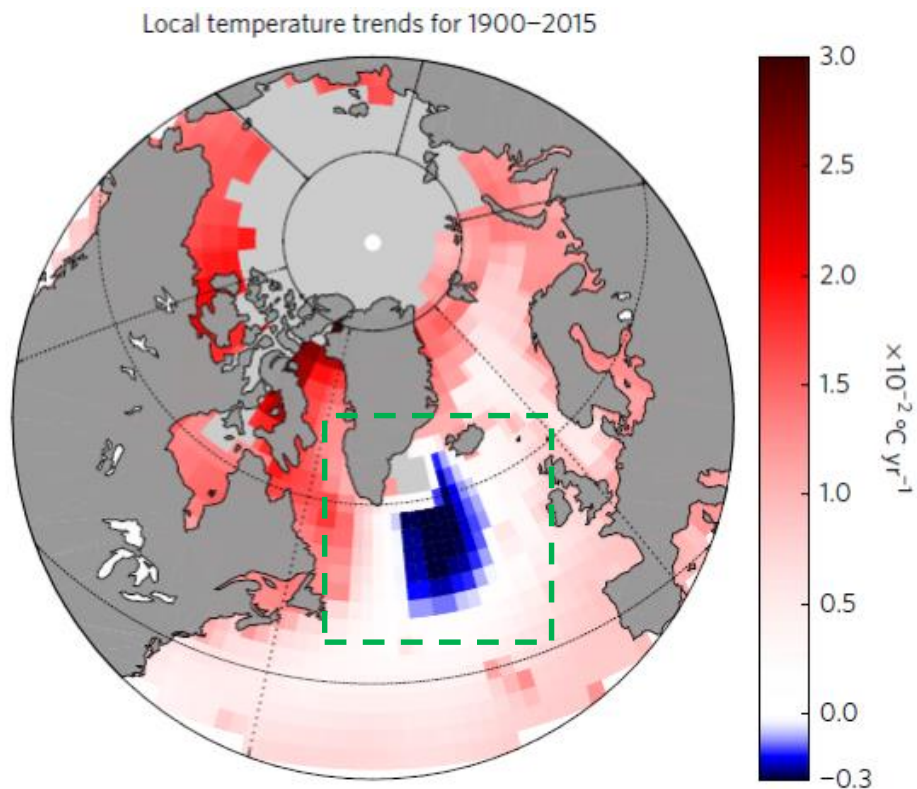
Where is Global Warming Going?

Southern Ocean?



Where is Global Warming Going?

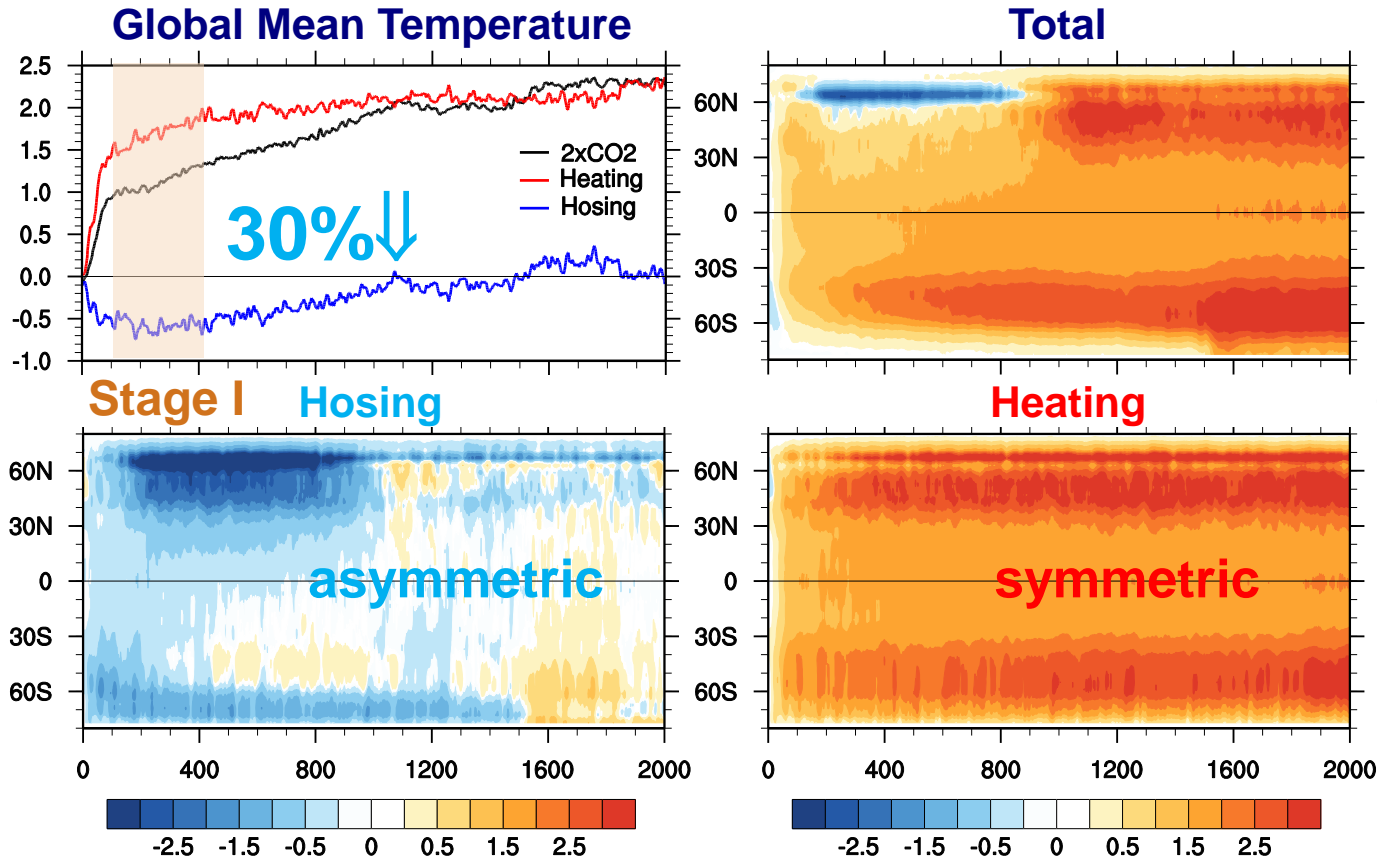
Melting Polar Ice



A Warming Hole

Sevellec et al. (2017)

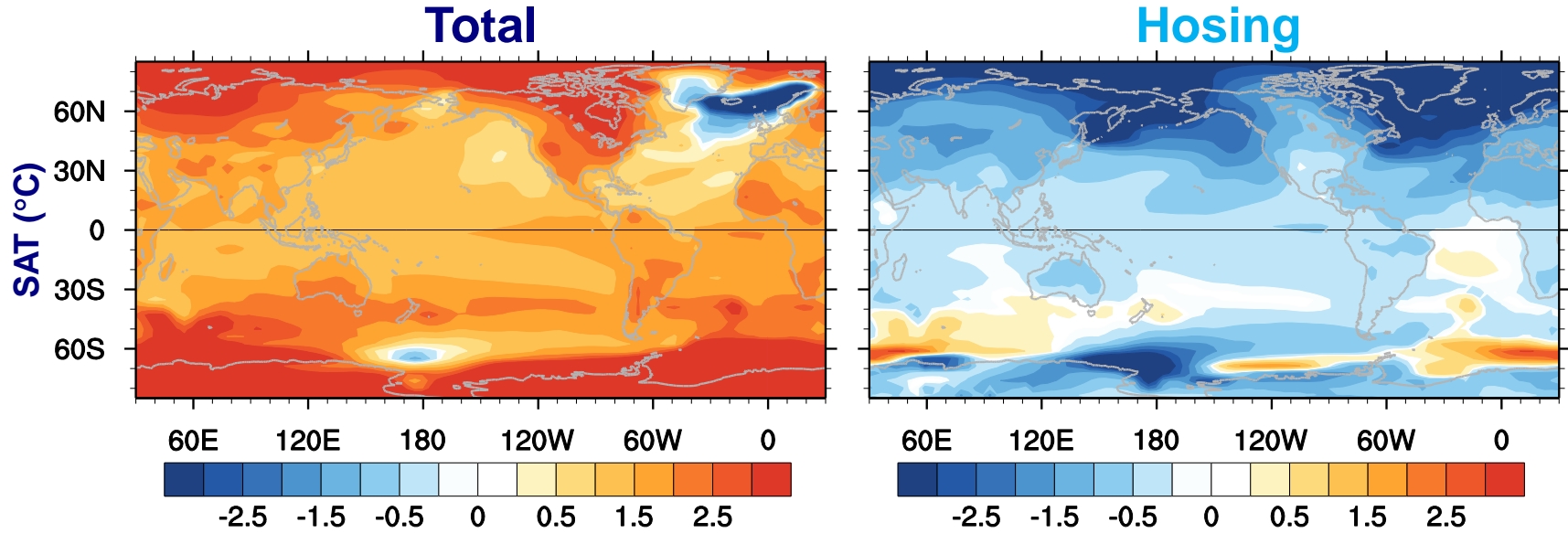
Global *Temperature* Evolution



Earlier stages in Global Warming

Most relevant to that **We** are

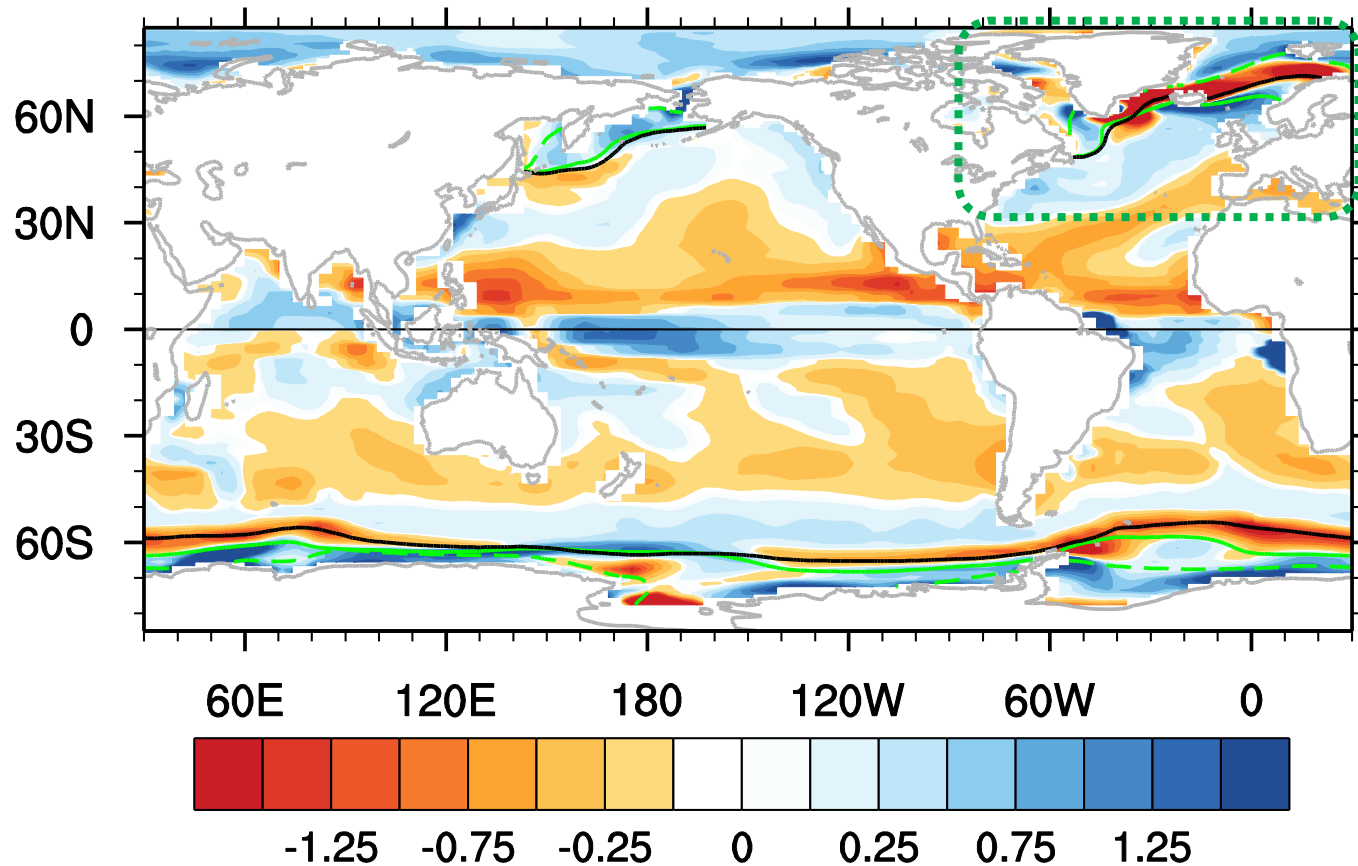
Surface Changes



Freshwater results in cooling and freshening,
asymmetric change

Freshwater Change in N. Atlantic

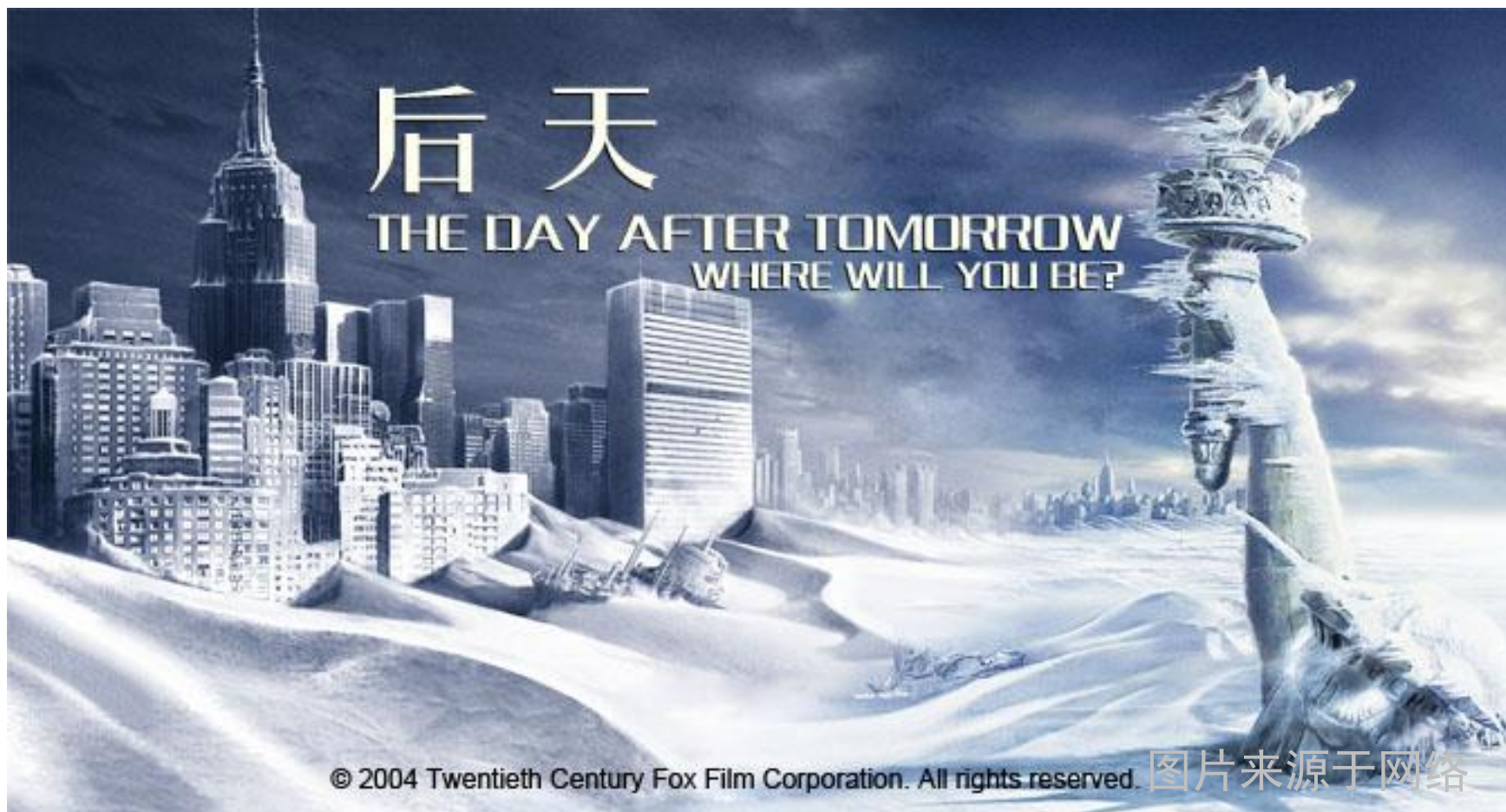
More Freshwater due to **sea-ice melting**



Later stages in Global Warming ...

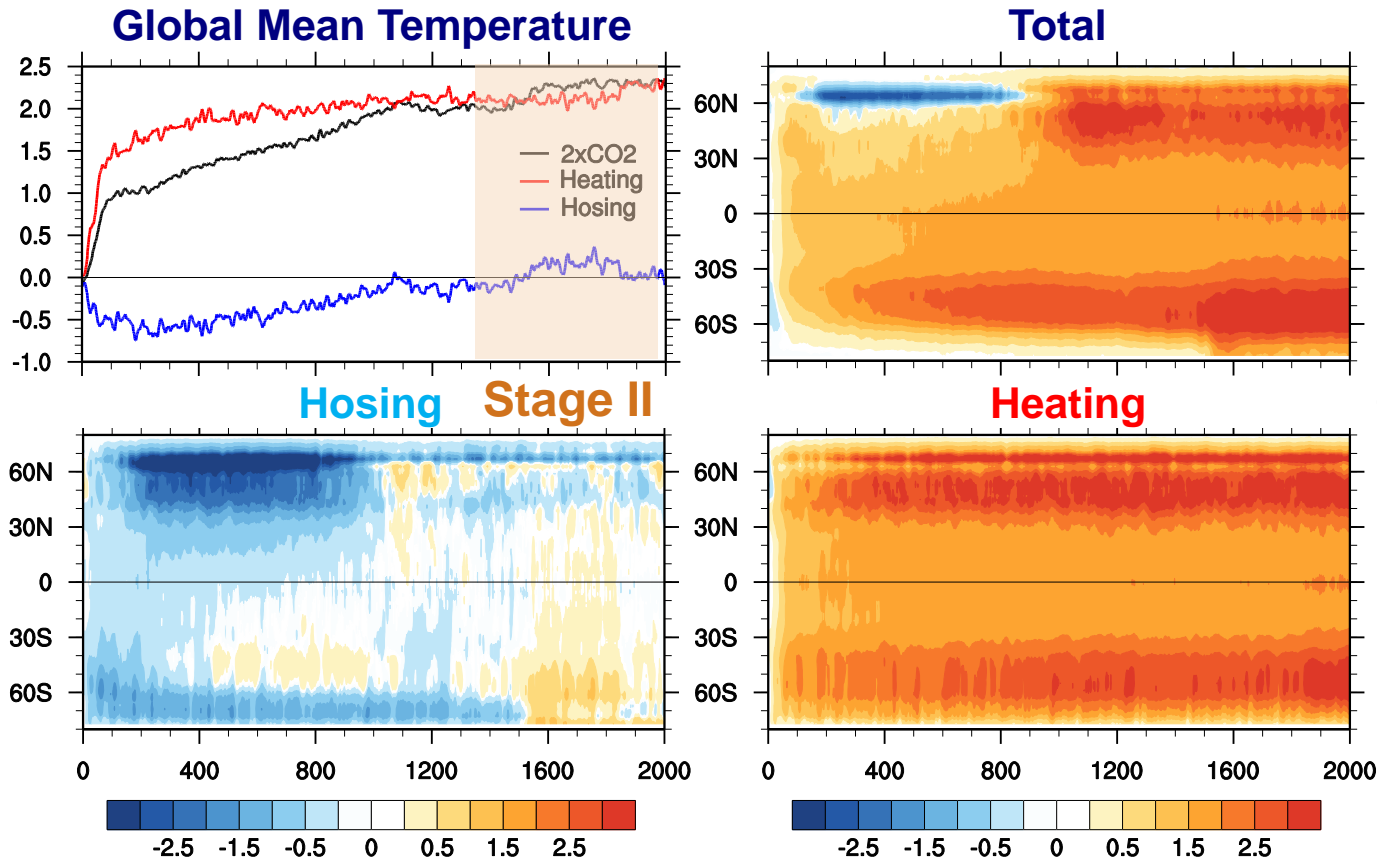
还有明天，没有“后天”

地球气候会失控吗？



<https://www.giss.nasa.gov/research/news/20170118/>

Global *Temperature* Evolution



我们该怎么办？



地球海气系统能量补偿理论

能量补偿 \Leftrightarrow 体重保持

饮食
(海洋)

运动
(大气)

新陈代谢
(气候反馈)

$$C_R = -\frac{1}{1-B}$$

植树造林？



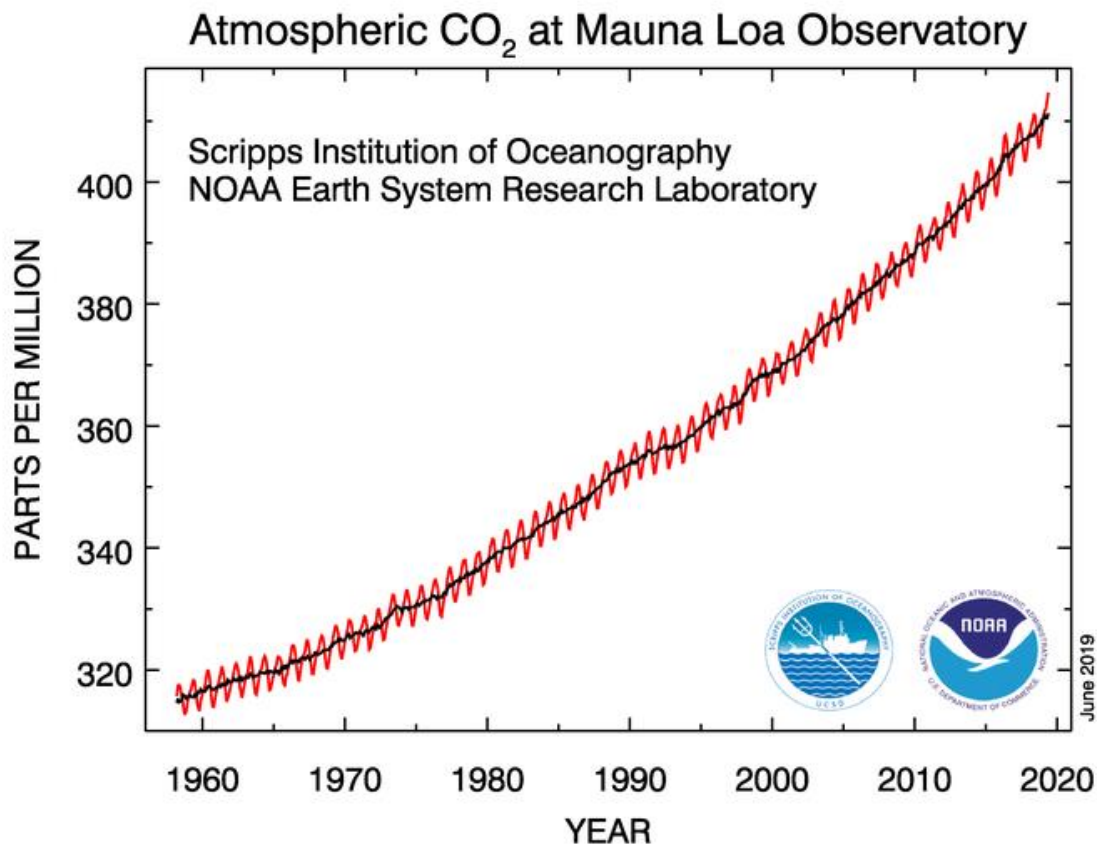
植树造林？



植树造林？



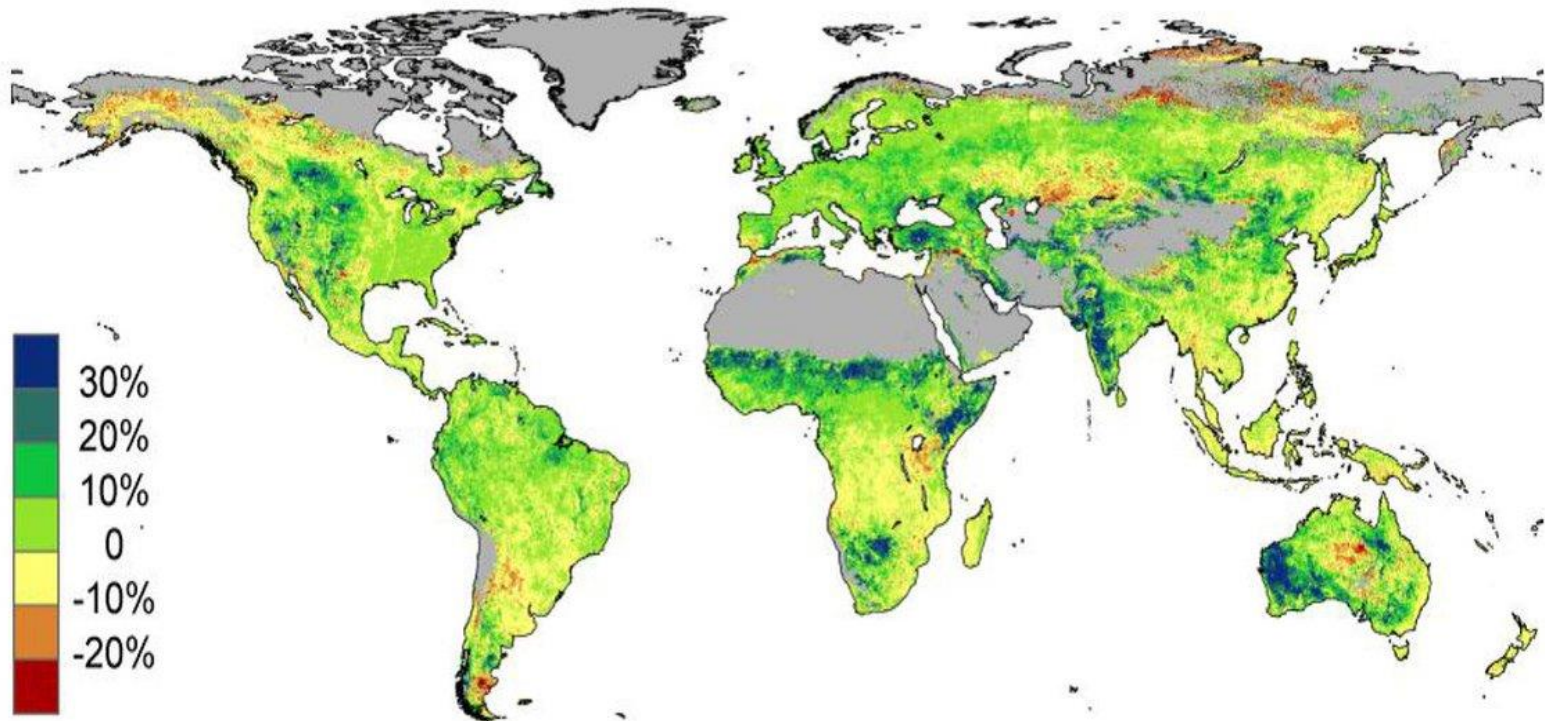
A Rapid Rising CO₂



<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gr.html>

撒哈拉沙漠变绿？

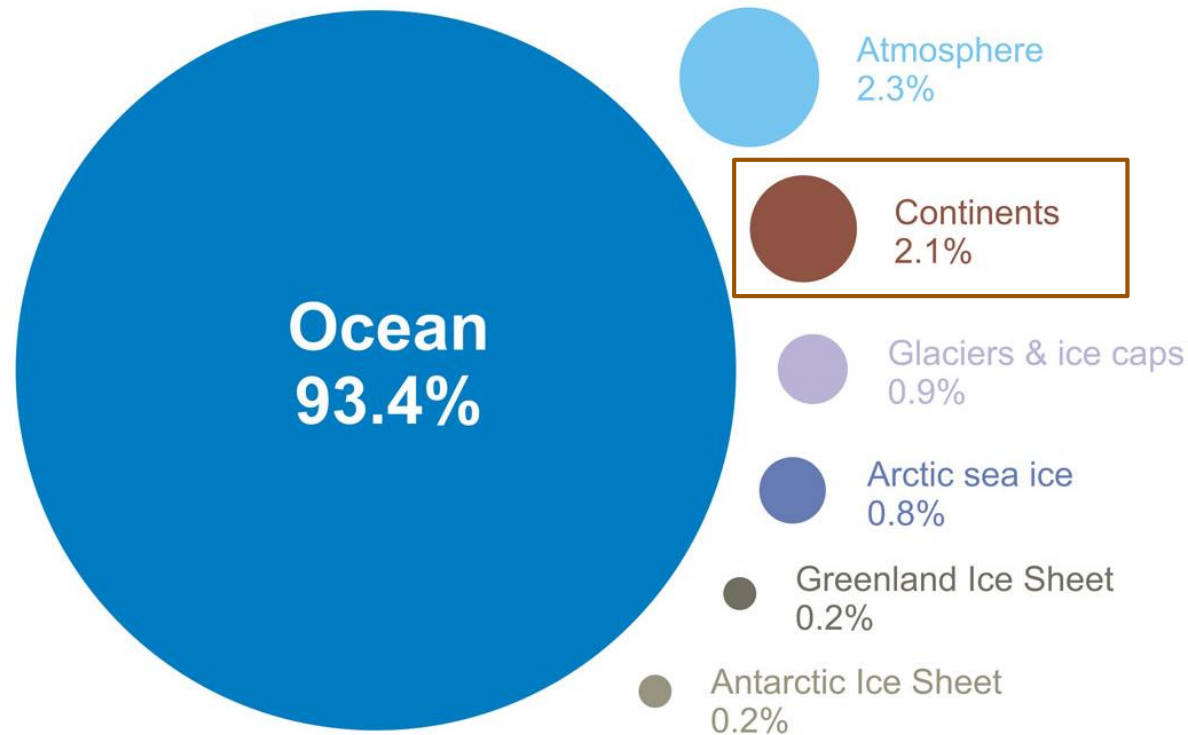
Global Greening From CO2 Fertilization: 1982-2010



Increase = 11% in areas studied

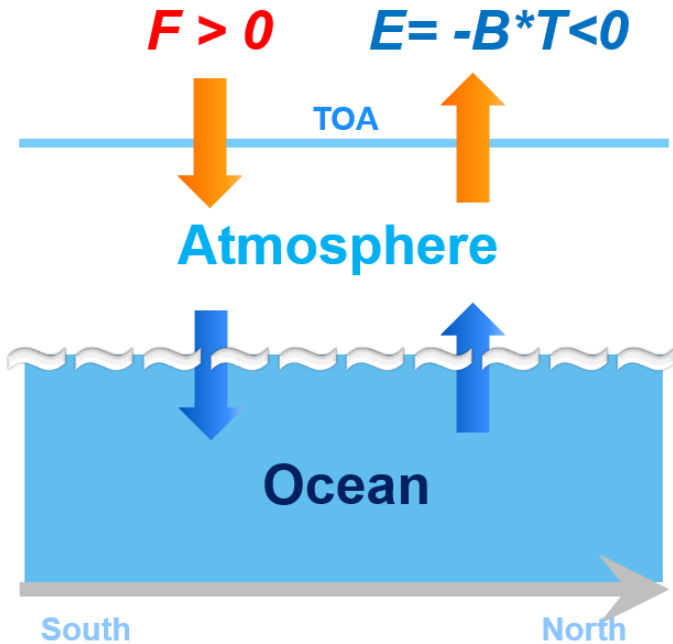
Donohue et al, GRL (June 2013) DOI: 10.1002/grl.50563

Where is Global Warming Going?



S. Levitus, J. I. Antonov, T. P. Boyer, O. K. Baranova, H. E. Garcia, R. A. Locarnini, A. V. Mishonov, J. R. Reagan, D. Seidov, E. S. Yarosh, and M. M. Zweng | published 17 May 2012

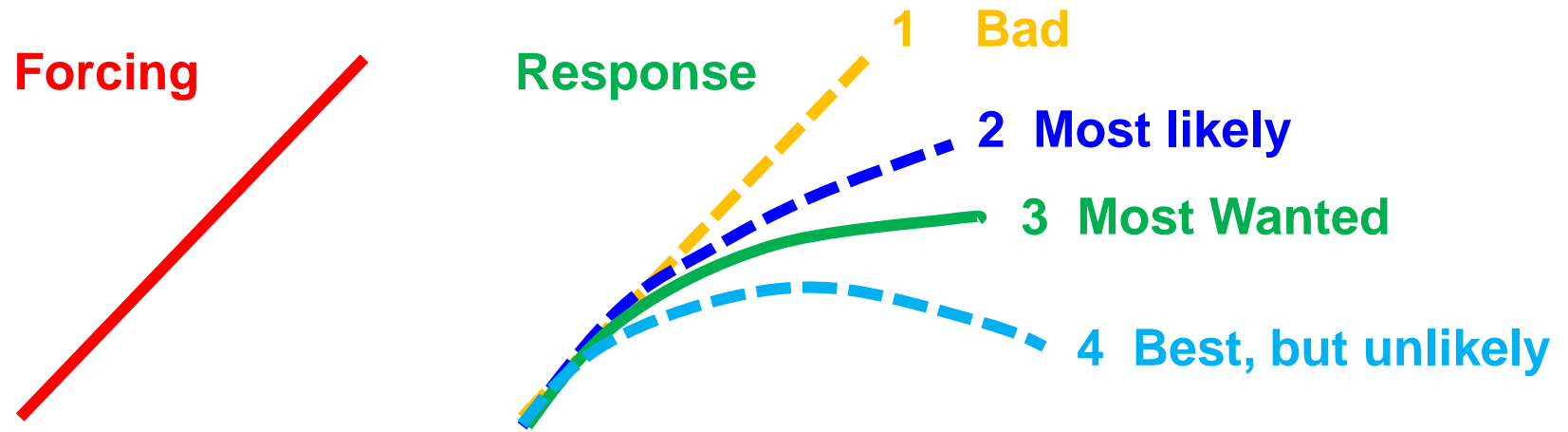
1-Box Energy Balance Model (EBM)



$$\frac{dT}{dt} = F - BT$$

If $F = \text{const.}$, T determined by
climate feedback B

Our Future: Possibilities



Summary and Discussion

Earlier stage:

- ◇ Ocean: **30%** cooling
 - ◇ Downward heat transport
 - ◇ Sea-Land ice melting

Later stage:

- ◇ Accelerate surface heating
 - ◇ No ice buffering effect
 - ◇ Deeper ocean heat release



LaCOAS

北京大学气候与海洋学实验室

Thanks

**适应这个更“温暖”的星球！
改变自己，创造美好未来！**