

亚马逊雨林

命运攸关的气候临界点



支持方：

六项原则

六项原则序言

作为机构投资者，我们有责任为受益人争取长期利益最大化。从受托人角度看，我们认为环境、社会和公司治理（ESG）问题会影响投资组合的绩效，且不同公司、部门、地区、资产类别在不同时间受到的影响各异。我们也认识到，应用负责任投资原则可以促进投资者与更广泛的社会目标保持一致。

因此，在符合受托人责任的情况下，我们作出如下承诺：

- 1 将 ESG 问题纳入投资分析和决策过程。
- 2 成为积极的所有者，将 ESG 问题纳入所有权政策和实践。
- 3 寻求被投资实体对 ESG 相关问题进行合理披露。
- 4 推动投资业广泛采纳并贯彻落实负责任投资原则。
- 5 齐心协力提高负责任投资原则的实施效果。
- 6 报告负责任投资原则的实施情况和进展。



PRI 的使命

我们认为，兼具经济效率和可持续性的全球金融体系对于长期价值创造不可或缺。只有在这样一种金融体系下，负责任的长期投资才能够取得回报，惠及整个环境和社会。

PRI 鼓励各方采纳并合作贯彻负责任投资原则，完善公司治理、诚信和问责机制，并通过扫除市场运作、结构和监管方面面临的障碍，建立起可持续的全球金融体系。

PRI 免责声明

本报告所含信息仅供参考，不构成投资、法律、税务或其他建议，亦不构成投资决策或其他决策的依据。本报告作者和出版部门不就法律、经济、投资或其他专业问题和服务提供建议。PRI Association 不对本报告中可能提及的网站和信息资源的内容负责。PRI Association 提供网站访问链接或者信息资源的，不构成对其中信息的认可。除另有明确说明外，本报告给出的观点、建议、结果、解释和结论均来自本报告的撰稿人，不一定代表 PRI Association 或负责任投资原则签署方意见。本报告引用的公司案例，绝不构成 PRI Association 或负责任投资原则签署方对此类公司的认可。我们竭力确保本报告所含信息出自最新可靠来源，但统计数据、法律、规则和法规不断变化，可能导致信息延迟、遗漏或不准确。PRI Association 不对任何错误或遗漏负责，不对根据本报告所含信息作出的决策及采取的行动负责，亦不对由此等决策或行动引起或造成的任何损失、损害负责。本报告中所有信息均“按原样”提供，PRI 不对该等信息的完整性、准确性、及时性或通过该等信息推导所得结果作任何保证，亦不提供任何明示或默示担保。

关于本报告

本文总结了有关全球气候临界点的一些最新科研工作。报告以 Will Steffen 在 PRI、全球经济动力学与生物圈计划（GEDB）、未来地球（Future Earth）以及斯德哥尔摩复原力中心（Stockholm Resilience Centre）共同举办的会议上的演讲为基础，由 Alice Dauriach、Beatrice Crona、Victor Galaz、Owen Gaffney 和 Danielle Carreira 整理完成。文中数据摘自科研刊物，仅用于编写本报告。

请注意：本报告仅为背景工作文件，尚未经过同行评审。如需了解更多信息，请参阅以下报告：



下载报告



地球的沉睡巨人

决定地球气候系统整体运转方式的临界阈



海洋环流



冰盖



海冰



季风



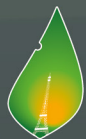
北方针叶林



雨林



沉睡巨人一旦被唤醒（即被推过临界点），便会唤醒其他巨人，进而加速气候变化。



PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21-CMP11

2015年《巴黎协定》

各国同意将全球气温升幅控制在“低于2°C以内”。

研究报告表明，如果全球气温升幅超过2°C，则达到气候临界点的风险会急剧上升。

气温上升4-5°C将造成全球灾难性后果。



< 2°C



> 2-3°C



> 4-5°C

巨人醒来

如果气温上升3-4°C或森林破坏率达到40%，则亚马逊雨林或将醒来，并达到气候临界点。

自20世纪70年代以来，亚马逊雨林的破坏率已上升至近20%。



目前的经济和金融模型大多忽视了临界点动态机制，因此很可能严重低估气候变化的潜在风险和成本。

结 论

我们要实现《巴黎协定》设定的2°C目标，并停止破坏雨林（同时加强植树造林），以防止亚马逊雨林达到临界点、破坏全球气候稳定。

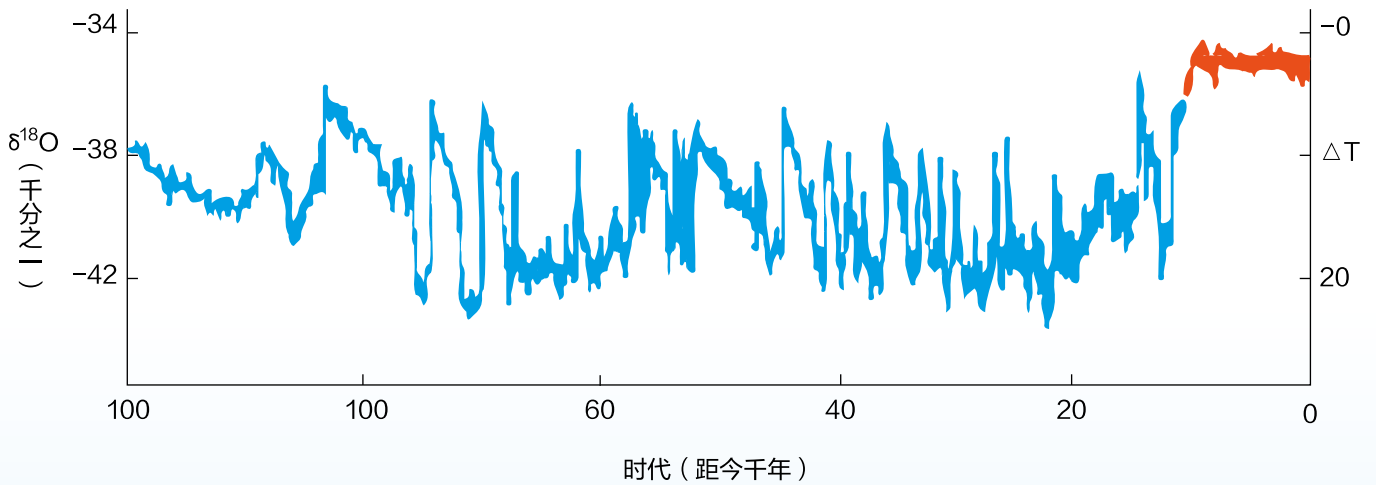
气候变化与地球系统学最新进展

人类塑造区域和全球生物圈，同时从根本上依赖生物圈机能维持自身发展，也离不开稳定的生物物理环境。

过去一万年间，地球处于全新世地质时代（图 1 橙色区）。与之前的八万年相比，全新世为人类提供了非常稳定的气候环

境，人类得以发明农业和农耕，开发新技术，建立复杂的人类社会。全新世气候是我们唯一确定适宜人类目前文明繁荣发展的气候形态，但稳定的气候并非恒态。我们是不是已经在远离稳定状态？

图 1: 18O (温度指标) 阶段最后一个冰川周期。来源: 改编自 Young 和 Steffen (2009 年)



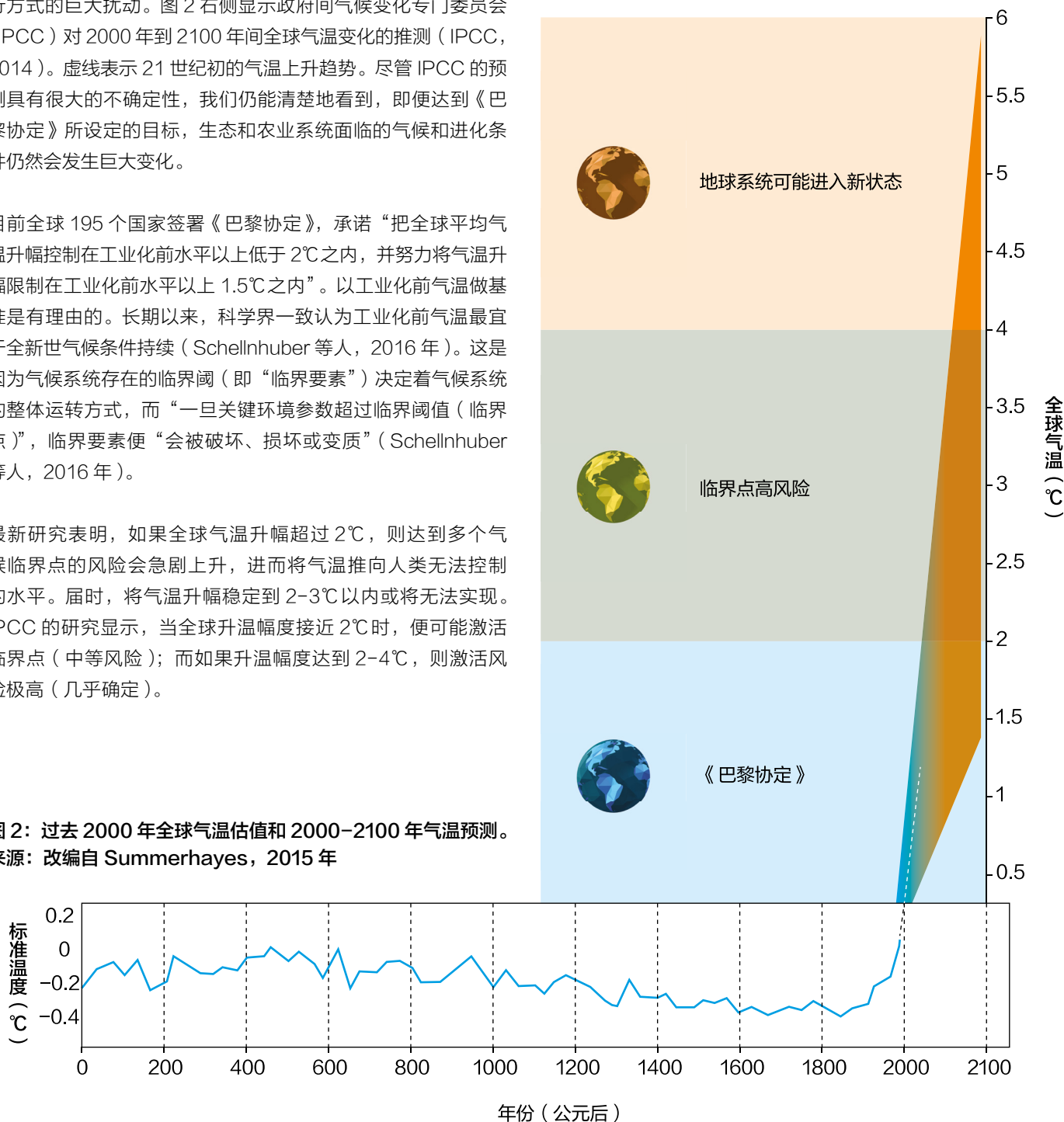
过去 2000 年里，全球气温变化幅度很小（图 2）。图 2 左侧显示自公元元年起至 2000 年全球每 30 年的平均气温变化情况。温标上的“0”表示 1950 年至 2000 年的平均气温。可以看出，全球气温在 20 世纪 50 年代突破气候自然变异包络线，并持续上升。在过去的四十年中，全球气温一直在以每十年 0.17°C 的速度上升，目前已比工业化前水平高出约 1.2°C（Steffen 等人，2018 年，在印）。从地球系统的角度来看，这是对系统运行方式的巨大扰动。图 2 右侧显示政府间气候变化专门委员会（IPCC）对 2000 年到 2100 年间全球气温变化的推测（IPCC，2014）。虚线表示 21 世纪初的气温上升趋势。尽管 IPCC 的预测具有很大的不确定性，我们仍能清楚地看到，即便达到《巴黎协定》所设定的目标，生态和农业系统面临的气候和进化条件仍然会发生巨大变化。

目前全球 195 个国家签署《巴黎协定》，承诺“把全球平均气温升幅控制在工业化前水平以上低于 2°C 之内，并努力将气温升幅限制在工业化前水平以上 1.5°C 之内”。以工业化前气温做基准是有理由的。长期以来，科学界一致认为工业化前气温最宜于全新世气候条件持续（Schellnhuber 等人，2016 年）。这是因为气候系统存在的临界阈（即“临界要素”）决定着气候系统的整体运转方式，而“一旦关键环境参数超过临界阈值（临界点），临界要素便“会被破坏、损坏或变质”（Schellnhuber 等人，2016 年）。

最新研究表明，如果全球气温升幅超过 2°C，则达到多个气候临界点的风险会急剧上升，进而将气温推向人类无法控制的水平。届时，将气温升幅稳定到 2-3°C 以内或将无法实现。IPCC 的研究显示，当全球升温幅度接近 2°C 时，便可能激活临界点（中等风险）；而如果升温幅度达到 2-4°C，则激活风险极高（几乎确定）。

现在的问题是，即使我们明天就将全球温室气体排放量降至零，地球系统内存留的温室气体仍足以将全球气温推高 1.5°C 左右。我们过往的行为已经决定，孕育人类的地球必将发生翻天覆地的变化。但如果我们不能达成《巴黎协定》设定的目标，那么即使是如今高度发达的技术社会也难以应对因此产生的后果。所以，能否达成《巴黎协定》目标将决定我们是否能守住赖以生存的地球。

图 2：过去 2000 年全球气温估值和 2000-2100 年气温预测。
来源：改编自 Summerhayes, 2015 年



什么是气候临界点？ 突破气候临界点会产生什么后果？

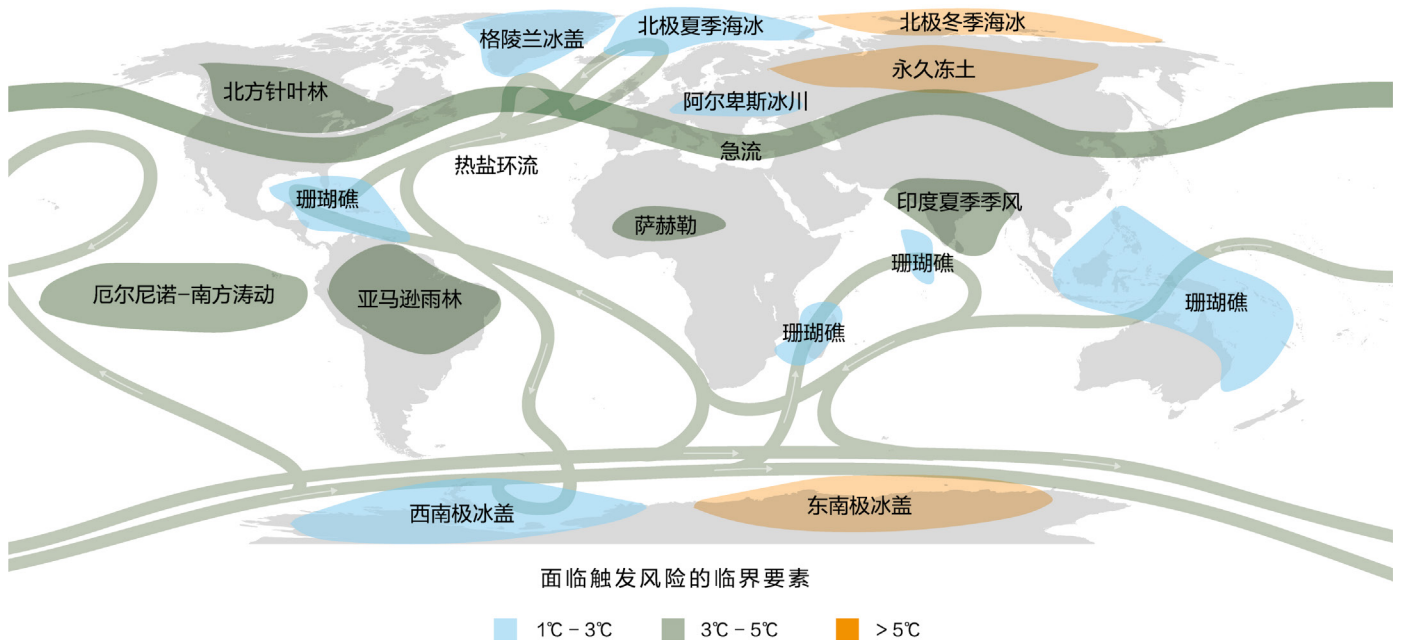
现实生活中有很多我们熟悉的临界点和稳定状态。你坐在椅子上，靠着椅子稍微往后仰，会发生什么？椅子会回到原来的直立位置。你再让椅子往后仰一些，它仍然会回到原位。但是，如果你让椅子后仰太多——超过临界点——那它不会再回到直立状态，而是完全翻倒，你也会跟着摔倒在地。这就是一个临界点，而这类临界动态的例子在自然系统中非常普遍。在井然有序的社会体系，我们习惯于确定、线性的世界，我们对一个系统的作用力越大，它的回应就越强。这在一定程度上可能是正确的，但当系统达到临界点时，情况便会不一样。

临界点已经成为气候变化研究的重要组成部分。有科学家在一篇具有里程碑意义的论文（Lenton 等人，2008 年）中，将“临界点”定义为“达到之后，即使微小扰动也能让系统的状态或发展产生质变的临界阈”（图 3）。文章作者探索了地球系统中大气、冰盖、海洋、陆地、水和碳循环以及丰富生命多样性之间的复杂相互作用。他们还引入“临界要素”一词，用以描述“地球系统中可能跨过临界点的大型组成部分”。

临界要素又称“沉睡巨人”（Steffen，2006 年），二十年来一直是科学家研究的对象。全球范围内，北极海冰、亚马逊雨林、北方针叶林和海洋环流都会影响气候。2017 年，美国全球变化研究计划（US Global Change Research Programme, USGCRP）根据远古气候数据、地球系统模型和专家引证，确定 12 位沉睡巨人（见表 1）。表 1 显示每位沉睡巨人可能经历的变化、影响全球气候的机制以及可能造成的经济和社会后果。

沉睡巨人们相互作用，维持地球气候的长期相对稳定。但是，一旦全球平均气温超过临界阈值，它们便可能醒来。最新科学证据表明，不同的升温幅度可能会触发不同的临界要素（见图 3 彩色标示）。北极夏季海冰、格陵兰冰盖、阿尔卑斯冰川、珊瑚礁和西南极冰盖五位沉睡巨人可能在《巴黎协定》的气候目标范围内跨过阈值。其他临界要素则可能在温度升幅更大时面临触发风险。

图 3：地球系统的临界要素¹。来源：基于 J.Lokrantz/Azote 插图，改编自 Steffen 等人，2018 年



1 地球系统的主要组成部分（区域、生物群系和海洋环流）相互作用，维持地球气候的长期相对稳定。但是，随着全球平均气温的上升，它们的状态可能会迅速改变，并有可能进一步推升全球气温，进而影响其他临界要素，形成多米诺骨牌效应，使气温节节攀升。

表 1 地球的沉睡巨人：气候临界要素（改编自 USGCRP 第 15 章，2017 年）。

气候临界要素	状态变化	影响路径	经济和社会影响
大气 - 海洋环流			
海洋环流：大西洋	强度大幅下降	有可能显著影响北欧等地区温度和雨雪情况，并影响全球平均气温和海平面	种群需大幅调整适应
厄尔尼诺 - 南方涛动	幅度加大	厄尔尼诺以及与之相反的拉尼娜现象影响全球极端天气模式，包括降雨和干旱	预测区域范围内极端天气、季风爆发和干旱难度增加
赤道大气超自转	开始发生	云量，气候敏感性	留白
冰冻圈			
南极冰盖	冰量大幅减少	海平面；反照率（地表反射或吸收的热量）；海洋环流	全球海平面将在未来数千年间上升 70 米
北极海冰	夏季和 / 或多年面积大幅减少	区域温度和降水量；反照率	影响北半球极端天气的持续时间和强度，伴有全球影响
格陵兰冰盖	冰量大幅减少	海平面；反照率；淡水涌入海洋环流	海平面在未来数千年间或将上升 7 米
碳循环			
甲烷水合物	释放大量碳	温室气体排放	温室气体排放控制难度大幅上升
永久冻土碳	释放大量碳	温室气体排放	温室气体排放控制难度大幅上升
生态系统			
亚马逊雨林	森林消亡（种群灭亡），变为草原	温室气体排放、生物多样性	温室气体排放控制难度大幅上升
北方针叶林	森林消亡，变为草原，范围扩大	温室气体排放；反照率；生物多样性	温室气体排放控制难度大幅上升
珊瑚礁	珊瑚礁消亡，变为其他生态系统	生物多样性	对旅游业、渔业及相关行业产生重大经济影响

多米诺骨牌效应

地球系统中没有完全孤立的存在。各临界要素会相互作用，当前研究的重点便是认识它们可能对彼此产生的影响。但我们还应认识到，即使各要素间没有直接影响，只要其中某一要素达到临界点，便很可能加速全球变暖。例如，北极海冰融化会降低反照率（即地球反射太阳光的百分数），导致地球吸收的太阳热量增加。亚马逊雨林变成草原，则会因转变期间的森林火灾，将树木中储存的碳全部释放到大气中。

这意味着，触发一个临界点会增加触发其他临界点的风险，可能引发危险的级联事件。一旦全球气温升幅突破 2°C 阈值，风险便会急剧上升，唤醒沉睡巨人再将气温升幅推至 +4°C，形成不断增强的反馈环：沉睡巨人所处地区碳排放失控性上升，碳进入大气推高气温，又导致森林和其他生物群系的碳排放增加。学界普遍认为，“四度世界”情景会导致全社会灾难性后果（世界银行，2012 年；New 等人，2011 年）。

那么后果究竟有多严重呢？世界银行发布的《降低热度》（Turn

Down the Heat）报告（2012 年）发现，“气温上升 4°C 可能造成毁灭性的影响：沿海城市将被淹没；粮食安全面临风险，导致营养不良率上升；以热带地区为代表的许多地区会遭受空前热浪；缺水地区旱情严重加剧；热带气旋强度增加；珊瑚礁系统等生物多样性也会不可逆转地丧失”，其中最贫穷、最脆弱的地区受到的冲击最甚。但该报告并没有仔细评估气温上升对经济的影响。同样遗憾的是，IPCC 在评估气候变化对经济的影响时基本忽略了临界点的动态作用。有科学家认为，这一疏漏导致经济模型严重低估未来气候变化的潜在风险和成本（Stoerk 等人，2018 年）。

地球系统科学最新研究表明，当气温升幅达到 +5-6°C 时，地球系统可能会进入一种全新的状态（Steffen 等人，2018 年）。我们不清楚从生理角度而言人类能否在其中生存，但可以肯定的是，这会对当代文明构成严峻挑战，甚至导致社会瓦解。这是一个我们不愿坠入的世界，风险实在太高。



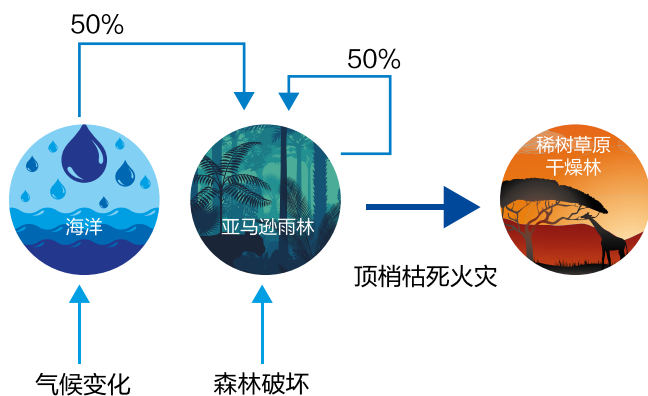
亚马逊雨林——命运攸关的“沉睡巨人”

温度上升并非唤醒沉睡巨人的唯一原因。污染、森林破坏和栖息地破坏也会降低沉睡巨人的复原力，使它们更接近临界点。这里的复原力指的是系统在经历变化或冲击后自我恢复的能力。在上一节介绍的 12 位沉睡巨人中，亚马逊雨林和北方针叶林的复原力直接受当地经济活动的影响。本节将深入探讨亚马逊雨林临界要素，以及为何它对全球气候尤为重要。

我们知道，亚马逊雨林是数百万人特别是原住民的重要生态系统，是他们赖以生存的家园。亚马逊雨林又名“地球之肺”。这是一个非常恰当的称呼，因为它提供全世界 20% 的氧气、15% 的海洋淡水以及 10% 的全球生物多样性。此外，亚马逊雨林的面积几乎是印度的两倍，是地球生物圈的主要动力。它将大气中的碳吸收到土壤和树干，储存着 1350 亿 - 1800 亿吨碳。对比之下，人类每年的碳排放量约为 100 亿吨。

亚马逊需要足量雨水才能维持热带雨林体系。亚马逊雨水有两个来源，一半来自大气环流带来的海洋蒸发降水，另一半来自亚马逊自身蒸散降水（树木蒸发的部分水分在亚马逊盆地范围内形成降水）。降水来源决定亚马逊的“临界”动态：如果雨林面积缩小，雨林的水分蒸发量也会降低，减少亚马逊地区降雨，进而加剧雨林顶梢枯死（图 4）。

图 4：亚马逊临界要素



我们知道，亚马逊正在迅速发生变化。自 20 世纪 60 年代以来，大约 20% 的森林已经消失殆尽。没有森林，当地降雨会发生剧烈变化（Coe, 2017 年）。过去十年中，亚马逊地区遭遇了创纪录旱灾（2005 年、2010 年、2016 年）和洪灾（2009 年、2012 年、2014 年）。仅在 2005 年和 2010 年的旱灾中，就释放出储存 10 年的碳量。南半球最大的城市圣保罗经历的几次重大用水危机，都与巴西其他地区的森林破坏息息相关。气候在极端状态（干旱和洪水）之间摇摆表明系统正在逼近临界点。

亚马逊雨林提供全世界 20% 的氧气、15% 的海洋淡水以及 10% 的全球生物多样性。

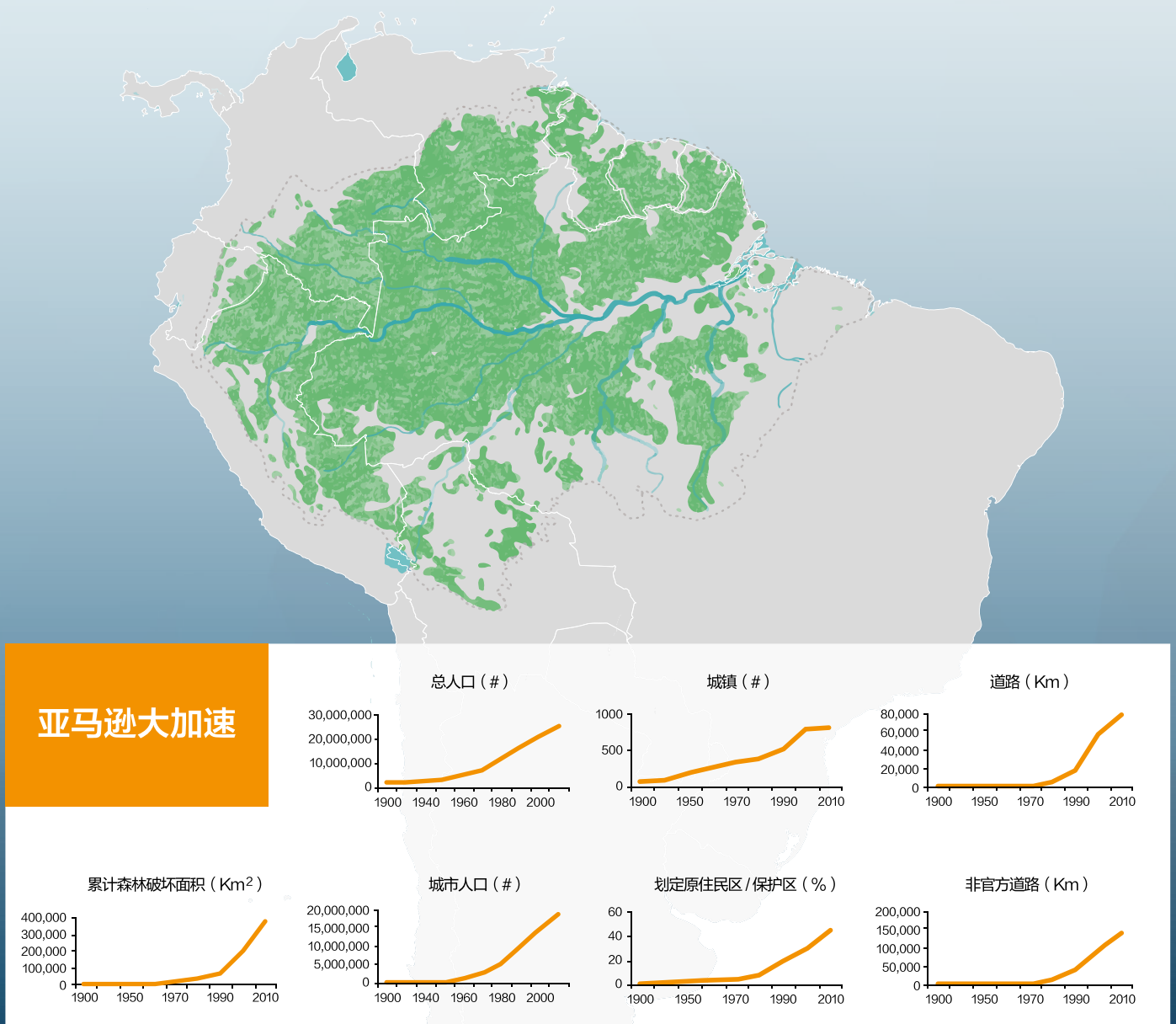
据估计，亚马逊雨林或将跨越临界点。届时，森林主体消失，可能释放出大量碳，同时大片土地变成类似稀树草原的状态（图 4）。单独森林破坏（即使气候稳定）便会将亚马逊推向临界点。科学家确信，一旦亚马逊森林破坏率达到 40% 左右，就会触发临界点。单独气候变化也会将亚马逊推向临界点：即使森林不被破坏，气温上升 3-4℃ 很可能会触发临界点。潜在临界点可能在 21 世纪下半叶触发，并可能引发气候系统的多米诺骨牌效应。

不过，研究人员认为，在森林破坏和气温升高的双重作用下，临界点或许会提前到来。确实，如果考虑气候变化的影响，那么亚马逊有可能在森林破坏率达到约 20-25%（略高于目前水平）时触发临界点，但还有诸多不确定因素存在（Lovejoy 和 Nobre, 2018 年）。这意味着，如果气温上升幅度达到《巴黎协定》设定的 2℃ 目标，则可容许的森林破坏率远远不到原始雨林的 25%（扣除目前破坏水平，剩余不到 6%）。如果气温上升约 3℃，则可容许的森林破坏率接近于零。还有很重要的一点，临界动态存在滞后效应。即便森林破坏率迅速降至零，只要温度升幅达到 2℃ 以上，亚马逊雨林也只能再维持 50 年，最终在 60-70 年后消失。

气候模型表明，热带地区的森林破坏会对全球气候产生深远影响。热带森林消失会引发蝴蝶效应，使远方气温升高。例如，西地中海地区在冬季会稍微变冷。而更令人担忧的是，中国人口密集地等中亚地区会变得更加炎热（Snyder, 2010年）。这表明全球气候系统中没有孤立的存在。

概而言之，我们需要达到《巴黎协定》的2°C目标，同时停止破坏森林，以防止亚马逊雨林达到临界点，以避免一系列可能破坏气候稳定的事件。为应对人类活动不断对亚马逊生物群系造成的压力，重要的是制止森林破坏和退化、保护并修复剩余原生森林以及植树造林。因此，森林管理将在维持亚马逊雨林、乃至全球气候系统的稳定性和复原力方面发挥关键作用。

图 5：亚马逊大加速。共同作者：Jerker Lokrantz/Azote



REFERENCES

- Coe, Michael T., et al. *The forests of the Amazon and Cerrado moderate regional climate and are the key to the future*. Tropical Conservation Science 10 (2017): 1940082917720671.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2014 Synthesis Report*. Summary for Policymakers (2014).
- Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.W., Lucht, W., Rahmstorf, S., Schellnhuber, H.J. *Tipping elements in the Earth's climate system*. Proc. Natl. Acad. Sci., 105, (2008) 1786–1793.
- Lovejoy, T.E., Nobre, C. *Amazon tipping point*. Science Advances Vol. 4, no. 2, eaat2340 (2018). doi: 10.1126/sciadv.aat2340
- New, M. Liverman, D.M., Betts, R.A., Anderson, K.L., West, C.C. *Four degrees and beyond: the potential for a global temperature increase of four degrees and its implications*. Philosophical Transactions of the Royal Society A. volume 369, issue 1934 (2011).
- Schellnhuber, H.J., Rahmstorf, S., Winkelmann, R. *Why the right climate target was agreed in Paris*. Nature Climate Change, 6, (2016) 649–653.
- Snyder, Peter K. *The influence of tropical deforestation on the Northern Hemisphere climate by atmospheric teleconnections*. Earth Interactions 14.4 (2010): 1-34.
- Steffen W., Rockström J., Richardson K., et al. *Trajectories of the Earth System in the Anthropocene*. Proc Natl Acad Sci U S A (2018 in press).
- Steffen, W. *The Anthropocene, global change and sleeping giants: where on Earth are we going?* Carbon Balance Manag. 1, 3 (2006).
- Stoerk, T., Wagner, G., Ward, R. E. T. *Recommendations for improving the treatment of risk and uncertainty in economic estimates of climate impacts in the Sixth Intergovernmental Panel on Climate Change Assessment Report*. Rev. Environ. Econ. Policy, 1–7 (2018).
- Summerhayes, C. P. *Earth's Climate Evolution*. John Wiley & Sons (2015).
- USGCRP (U.S. Global Change Research Program). *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I*. Eds: D.J. Wuebbles, D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, T.K. Maycock, p.470. Washington, DC, USA (2017), doi: 10.7930/JoJ964J6
- World Bank. *Turn Down the Heat: Why a 4 Degree Warmer World Must Be Avoided*. Washington, DC (2012).
- Young, O. R., Steffen, W. in *Principles of ecosystem stewardship* (Springer, 2009), pp. 295–315.

编制人员

作者：

Alice Dauriach，瑞典皇家科学院与斯德哥尔摩大学斯德哥尔摩复原力中心全球经济动力学与生物圈博士生；

Beatrice Crona，瑞典皇家科学院全球经济动力学与生物圈副教授兼执行主任，斯德哥尔摩复原力中心科研副主任；

Victor Galaz，斯德哥尔摩大学斯德哥尔摩复原力中心副教授、副主任；

Danielle Carreira，PRI 环境问题高级经理

编辑：

Eliane Chavagnon, PRI

设计：

Alessandro Boaretto, PRI

负责任投资原则 (PRI)

PRI 与全球签署方共同合作，贯彻执行负责任投资六项原则。PRI 的宗旨是认识环境、社会和治理 (ESG) 问题对投资的影响，并支持签署方将 ESG 问题纳入投资和所有权决策。PRI 为签署方以及签署方经营所在的金融市场和经济体谋求长远利益，最终惠及整个环境和社会。

负责任投资六项原则立意高远，提出一整套可行方案，将 ESG 问题纳入投资实践，供投资者自愿遵守。六项原则由投资者制定、为投资者所用。签署方实施六项原则，有助于建立更加可持续的全球金融体系。

如需了解更多信息，请访问：www.unpri.org



PRI 是与**联合国环境署金融倡议**和**联合国全球契约**协作的投资者倡议。

联合国环境署金融倡议 (UNEP FI)

UNEP FI 是联合国环境署 (UNEP) 和全球金融部门之间的一项特殊的合作计划。UNEP FI 与 200 多家金融机构密切合作，这些机构都是 UNEP FI 可持续发展声明的签署机构，此外，UNEP FI 还与一系列的伙伴展开合作，致力于发展和促进可持续发展与财务业绩之间的联系。通过对等网络、研究和培训，UNEP FI 在各级金融机构的运营过程中识别、促进和实施最好的环境和可持续发展实践。

如需了解更多信息，请访问：www.unepfi.org



联合国全球契约

联合国全球契约号召世界各地的企业在运营和战略中履行人权、劳工标准、环境和反腐败领域的十项公认原则，并采取行动支持联合国可持续发展目标的实现和问题的解决。联合国全球契约旨在为负责任的企业实践的开发、实施和披露提供领导力平台。联合国全球契约于 2000 年启动，是全球最大规模的企业可持续发展倡议。迄今为止，来自 160 多个国家的 8800 多家企业和 4000 家非企业机构已加入该契约，此外还包括 80 多个全球契约地方网络。

如需了解更多信息，请访问：www.unglobalcompact.org

