

Views & Comments

人类未来前景展望

Martin John Rees

Member of Order of Merit; Fellow of Royal Society; Fellow of Royal Academy of Engineering; Fellow of United Kingdom Academy of Medical Sciences; Fellow of the British Academy

编者按: 该评论文章来自英国皇家天文学家Martin John Rees教授于2019年9月18日在伦敦“2019年全球重大挑战论坛”上发表的主题演讲。论坛的各个演讲发布于<https://www.raeng.org.uk/policy/partnerships/international-policy-and-development/ggcs/2019/welcome/on-demand-2>。Rees勋爵任职于剑桥大学，是一位宇宙学家、天体物理学家、科学哲学家，曾任英国皇家学会主席。Rees勋爵不仅发表了大量科学论文，还撰写了多种类型的书籍，不仅有学术著作，还有畅销的科普读物。Rees勋爵的演讲内容摘自其2018年出版的最新著作《展望未来——人类的前景》[1]。该书的中文译本将于2020年发行。

人们知道我的头衔是“皇家天文学家”后常会问我：“您为女王占星吗？”我告诉他们我是一名天文学家，而不是占星家。科学家的预测能力很差劲，几乎和经济学家一样差劲。因此，我对未来的预测只能是试探性的，并且介于科学乐观主义和政治悲观主义之间。

我要阐述的主题是，尽管地球已经存在了4500万个世纪，但本世纪尤为特殊。在本世纪中，地球的未来史无前例地掌握在一个物种的手中。我们已完全进入人类世，我将带领大家了解目前的技术前沿。

但我首先要强调的是这两件未卜先知的事：第一，2050年，全球将更加拥挤；第二，气候将变暖。50年前，全球人口约为35亿，现在约为77亿，人口增长主要出现在亚洲和非洲。在全球范围内，年出生人数在2012年

达到峰值，如今大多数国家的出生率正在下降[2]。但是，到2050年，世界人口仍可能增长到100亿左右，部分原因是发展中国家的大多数人口还很年轻，未生育小孩，而且寿命可能比上一辈长（图1）[3]。

与20世纪60年代乐观的预测相反，如今的预测结果是严峻的，但粮食产量的增长还能与人口保持同步增长。饥荒仍在存在，不过是由冲突或资源分布不均造成的，而不是资源整体匮乏。正如甘地所说，粮食产量能够满足每个人的基本需求，但不足以满足每个人的贪婪。如果我们想在2050年养活100亿人口，就需要进一步改进农业，包括转基因作物。饮食创新或许也能发挥作用，如食用人造肉或将富含营养的昆虫制作成美味的食物。

2050年后，人口数量将充满不确定性。婴儿死亡率的下降、城市化进程和女性教育情况的改善都使得人口出生率降低。如果非洲家庭继续生很多孩子，联合国预测非洲大陆的人口可能在2050—2100年间再次翻倍，达到40亿，全球人口数量也将达到110亿[4]。届时，尼日利亚的人口将与欧洲和北美洲的总人口不相上下。欧洲等地的发达国家应该把促进非洲的繁荣发展视为当务之急，而不仅仅是出于利他的原因。

未来的地缘政治压力令人堪忧。现在，贫困国家的人们通过互联网知道了他们缺少什么，而且移民的难度普遍降低了。这就造成了人民的不满和社会的不稳定。如今，生活坎坷的大批难民乘船跨越地中海，其中许多人因此丧命[5]。

如果人口数量的增长持续占用土地资源，并且全球变暖的势态不减，这对生态圈而言意味着，生命之书也许在人类阅读之前就会被摧毁。我们已经大大扭曲了事态的发展：如今，鸡和火鸡的生物质比世界上所有野生鸟类的都多[6]，人类和牲畜的总生物质约为所有野生哺乳动物的20倍[7]。对于许多环境保护主义者而言，保护生物圈的多样性本身便具有价值，这毫无疑问也是人类福祉一个至关重要的组成部分。我要引用伟大的生态学家E. O. Wilson说过的一句话：“物种大规模灭绝是人类后代最不能原谅我们的罪过。”

感受热浪

第二个确切的预测是，地球会变暖（图2）[8]。与人口问题不同，气候变化并非缺乏讨论，而是缺乏行动。政府间气候变化专门委员会在2018年10月发布的一份特别报告中重申，我们亟需采取行动[9]。

明确任务的轻重缓急中最具挑战的部分来源于经济理论的本质，它大大地低估了未来的形势，导致标准经济模型基本上不能说明2050年后的情况。因此，即使人们都明白气候灾难将是本世纪的一个重大风险，但如今他们呼吁行动的紧迫程度也会有所不同，其判断标准是对未来增长的预测和对技术解决手段的态度。但是，在我看来，针对气候变化采取行动的紧迫性取决于一个非

常重要的道德问题：我们是否要牺牲后代的生活环境来过上最舒适的生活？

顺便提一句，有一种政策没有低估事态的严重性，也就是放射性废物的处理。储罐的防漏年限长达10000年[10]，而我们的能源政策连提前规划30年都做不到，真是讽刺。

但是，还有一条共赢道路能够通往低碳未来。各国应加快研究与发展各种形式的低碳能源，同步发展其他技术，如智能电网和能源存储，包括电池、压缩空气、抽水蓄能、飞轮等。

这些低碳技术发展得越快，价格下降得就越快，人们就可以承受。这对印度等国来说尤为重要，因为这些国家日后的发电需求将大大增加，而燃烧木材或粪便的火炉排放的废气严重危害着贫困人口的健康。如果低碳技术不能发展，这些国家只能迫于压力建造燃煤电厂。

太阳能和风能在清洁能源领域获得广泛关注，但还有其他发电方式在特定地域具有优势。例如，英国西海岸等存在巨大浪潮的地方，潮汐能便具有发展潜力。的确，人们也提出了在那里修建潮汐堰坝或潟湖的建议。

由于本地日照和风力的间歇性，我们需要覆盖整个大陆的直流电网，将太阳能从南欧的摩洛哥和西班牙输送到缺少阳光的北欧，还可以从东部到西部，以缓解北美和欧亚大陆不同时区的高峰期需求，也可以沿着“一带一路”一直通到中国。

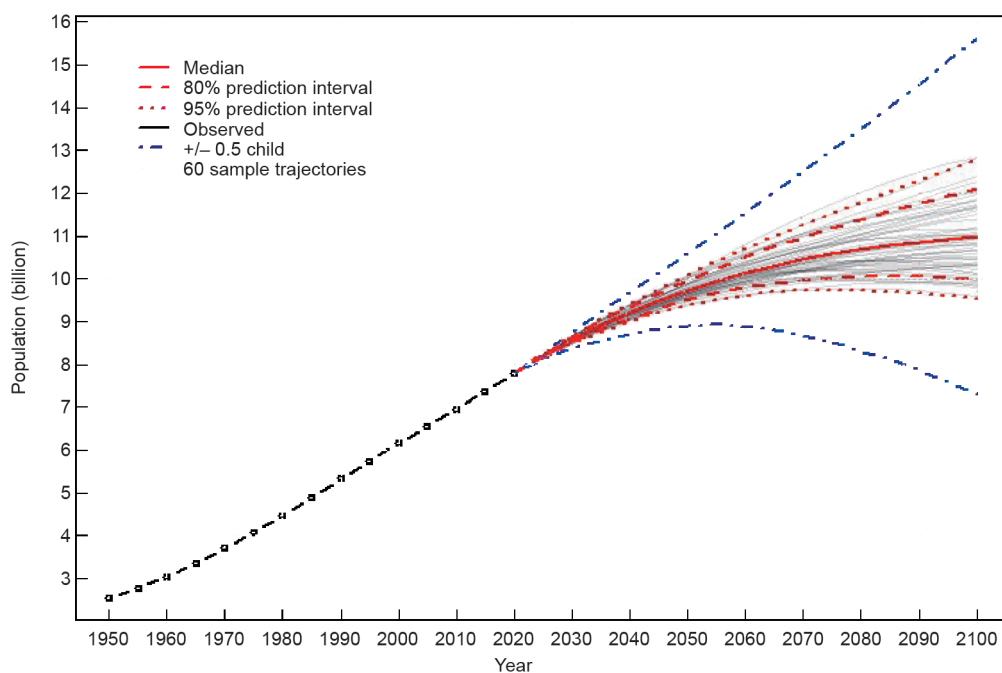


图1. 联合国人口司预测，到2100年，全球人口将达到110亿，这将对地球和人类创造力带来巨大挑战。转载自参考文献[3]。

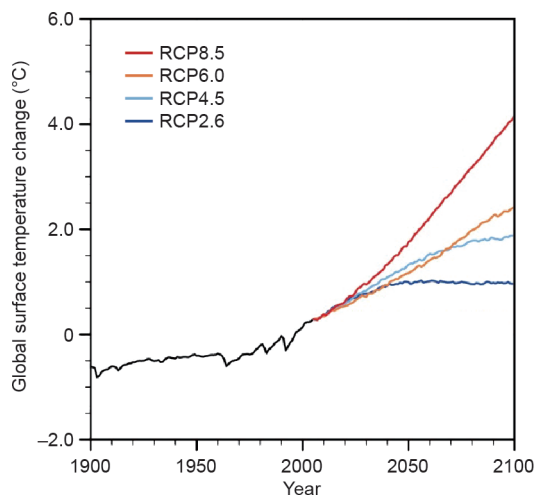


图2. 随着全球温室气体年排放量的不断上升, 世界将持续变暖, 但增幅是多少? 政府间气候变化专门委员会根据一组未来温室气体潜在排放情况[代表性浓度途径 (RCP), 从深蓝色到红色], 预测了一系列可能的结果。右侧的纵轴反映到21世纪末, 各个RCP所对应的全球温度变化的可能范围。转载自参考文献[8]。

尽管人们对核能的想法不一, 但我们有必要推动对各种“第四代”核电站概念的研究和开发。这些概念可能在规模上更加灵活多变, 而且更加安全[11]。此外, 核聚变带来的潜在收益十分可观, 因此继续进行实验并设计发电站原型具有重要意义。

这种研发方式也为英国提供了一个双赢的方案。如果英国达到其规定目标, 于2050年实现碳中和[12], 那么全球排放量将下降近2%。但是, 我们的科研成果约占全球的10%。通过引领创新, 英国能够作出的改变可以远远大于2%。对于年轻的科学家而言, 很难有别的挑战比为全球设计清洁经济的能源系统更加鼓舞人心。

双刃剑

我们应该成为新技术的传播者。没有新技术, 世界便无法为不断增长的人口提供食物和可持续能源。但是, 未来我们使用的技术需要有效的指导。的确, 许多人都觉得技术发展太快, 难以正确地应对, 而且前方的道路坎坷, 使人们感到焦虑。

在医疗保健方面, 微生物学在诊断、疫苗和抗生素领域取得了辉煌的进步, 为遏制流行病的蔓延带来希望。但是, 这些进步同样会使人们更加担心实验的安全性, “危险知识”的传播以及生物技术应用方式的伦理问题。例如, 2011年, 美国威斯康星州和荷兰的研究团队表明, 流感病毒有可能变得更加致命, 同时传播能力更强[13]。对某些人来说, 这是未来的不祥之兆。

用于基因编辑的CRISPR / cas9新技术前景广阔, 但是已经引发了伦理方面的担忧。例如, 编辑人类胚胎的实验引发了争议[14], 用于消灭蚊子或灰松鼠等物种的“基因驱动”程序或许会产生难以控制的后果, 引发焦虑[15]。

各国政府肯定会对生物技术采取严格和谨慎的态度。然而, 无论实施何种法规, 这都无法像毒品法或税收法一样在全球范围内执行。人类一定会在危险的边缘试探, 那将是一场噩梦。制造核弹一定会用到巨大的、显眼的特殊设备, 但生物技术只需要小型的两用设备。的确, 即使作为一种爱好和竞争激烈的游戏, 生物黑客数量也在激增[16]。这些担忧在近期内, 也就是在未来10或15年之内会尤为严重。难以想象, 2050年以后可能会发生什么。

人工智能

即使在25年前, 如今无处不在的智能手机、互联网及其附件在当时看来也都是神奇的。因此, 展望未来几十年, 我们必须对变革性的进展保持开放的心态, 或至少尝试接受, 而这些进展现在看来像科幻小说。

在生物学方面, 我们可以期待两件事: 一是更深入地了解决定人类和动物关键特征的基因组合; 二是有能力合成决定这些特征的基因组。如果能够“在餐桌上扮演上帝”, 我们的生态系统, 乃至人类可能就难以毫发无损地继续生存下去。

那么另一项变革性技术, 机器人和人工智能(AI)又如何呢? 通用机器学习领域已经取得了激动人心的进展。DeepMind的AlphaZero人工智能系统在几小时内便达到了国际象棋、日本象棋和中国围棋比赛的世界冠军水平, 轰动全球(图3)[17]。人工智能已经可以比人类更加有效地应对变化快速且复杂的系统, 比如交通网络或电网。在科学方面, 人工智能可以探索无限可能, 发现更好的药物结构, 或者发现室温下的超导体。

当然, 人工智能的成功要归功于计算机的运行速度: 计算机通过处理数百万个带有标签的图像来学习如何识别狗、猫和人的脸, 而这并不是人类的学习方式。同样地, 它们通过阅读数百万页的多语言文本来学习翻译。在欧洲, 计算机要学习欧盟文件, 它们对枯燥事物的容忍度可是无穷的!

人工智能对社会的影响是复杂的。如果我们被判处有期徒刑, 需要动手术或者信用评级很差, 当然会希望



图3. DeepMind的AlphaZero系统在中国古代的围棋游戏中取得胜利，人工智能再次攻克了人类智慧的堡垒。图片来源：DeepMind。

能够了解这些原因，并且对这些原因提出异议。如果这样的决定完全取决于算法，让机器篡夺人类的角色，即使有充分的证据表明，平均而言，机器能比人类做出更好的决定，我们还是感到不安。

人工智能在未来将更加普遍。我们所有的行动、健康状况和财务交易的记录都将存储在云中，由跨国垄断企业管理。这些数据可能用于医学研究等正当行为，但互联网公司也能接触到这些数据，这已经使权利平衡从政府转移到了遍布全球的企业。

机器人革命

显然，机器将占据制造业和零售分销的大部分份额。如果算不上取代，它们也能协助许多白领的工作，如常规法律工作、会计、计算机编程、医学诊断甚至动手术。许多专业人士会发现自己辛苦习得的技巧需求量减少。相比之下，某些技术服务类的工作，如管道修理和园艺活，则需要与外界进行非常规的互动，属于最难实现自动化的工作之一。

数字革命为创新者和跨国公司创造了巨大的财富。但是，维护一个社会的健康肯定需要财富的重新分配。此外，为了创建一个人道的社会，政府需要大力提高照顾老人、儿童和病患的护理人员的数量和地位。目前护理人员的数量远远不够，他们的薪水低廉，不够受人尊敬，且工作缺乏安全感。尽管如此，我还是认为这种工作比在客户服务中心或亚马逊仓库中工作更有成就感，后者可以很容易地实现自动化。

即便如此，随着机器人浪潮的到来，社会可能会发生变革。有些人甚至相信我们可以做到人机合一。这群技术狂热者的带头人便是未来学家Ray Kurzweil。他在《灵魂机器的时代》一书中预言，人类将通过与计算

机结合来突破生物学上的限制[18]。Kurzweil担心自己在有限的一生中无法见证其预言成真，于是与美国亚利桑那州的一家公司签约，如果他猝然辞世，就将他的躯体冰冻并保存起来[19]。当人类可以实现永生时，再将他复活，或着把他大脑里的信息下载下来。就个人而言，我宁愿埋葬在英国的教堂墓地里，也不愿在美国的冰箱里。

有些人坚称衰老是带来限制的“疾病”，但是可以治愈。或者，由于基因技术和半机器人技术的发展，人类的思想和体格起码可能是可塑的。这种世俗的“智能设计”将使我们改变的速度远远超过达尔文进化论中的速度，并且可能改变一切。当我们欣赏从古代幸存下来的文学和手工艺品时，感受到了几千年来古代艺术家及其所属文明的亲切感。但是，即使几百年后的主导智慧体对人类的行为具有算法层面上的理解，我们也完全不会相信，它们会与我们产生任何情感上的共鸣。

最后一个前沿领域

现在，我要简单谈谈另一个技术领域：太空领域。机器人可以在太空中大放异彩，而且我认为这些变化很快会发生，我们不必过于担心。

我们日常的卫星导航、环境监测、通信等活动都要依赖太空。21世纪，大量的微型探测器将探索整个太阳系。比起传送土星及其卫星、冥王星和更遥远行星特写图像的探测器，它们要先进得多。

20世纪90年代，人们设计了这些在外太空的探测器。回想当时的计算机和手机，再看看现在，我们已经取得了巨大的进步。下一步是在太空中部署制造机器人，它们能够在零重力下搭建大型设备，如太阳能收集器，或是带有巨大的、超薄镜片的巨型望远镜。

那载人航天又将如何发展呢？随着机器人和微型技术的不断发展，实际的载人航天任务越来越没有必要。我认为，像Elon Musk的Space X这样的私营企业应该包揽所有载人航天任务。让那些勇敢的寻求刺激的人在火星或小行星上建立独立基地吧。毕竟，Musk说他想死在火星上，但不是因为着陆失败而死[20]。

不要期待人类可以大规模逃离地球。太阳系中连类似南极或珠穆朗玛峰顶的居住环境都不存在，根本无法提供适合居住的环境。在这一方面，我不同意Musk和我已故同事Stephen Hawking的观点。用移民太空来逃避地球面临的问题是一种危险的幻想。与火星地球化相

比，应对地球上的气候变化可谓小菜一碟。普通人不可能把移民去“B星球”作为备用计划（图4）。

但是那些逃离地球的冒险先驱可能在宇宙层面上有重要意义，原因如下：虽然他们难以适应新的环境，但是也超出了地球的控制范围。他们能够利用所有遗传学和半机械人技术的资源来适应环境。它们将改变得更快，可能在几代之内就演变成了一个新的物种。

从未来回到现在

最后，让我们回到现实。我的书《展望未来——人类的前景》强调了我们的相互联系的社会是如此脆弱。我认为，我们对空难、食品致癌物、低辐射剂量等小风险感到过度焦虑，却对可能造成全球毁灭性影响的新兴威胁持否认态度。其中一些威胁本质上是环境问题，包括不断增长的人口及其需求所带来的压力。而另一些威胁则是我之前提到的新技术的潜在弊端。在人类世中，有一句真言：“不熟悉与不太可能不同。”

当然，大多数挑战都是全球性的。在过渡到低碳能源的过程中，应对粮食、水和其他资源的潜在短缺不是一个国家就能解决的问题，可能对创新造成威胁的法规也无法解决问题。的确，关键问题是，各国是否需要把更多权利移交给世界卫生组织或国际原子能机构等新组织。

科学家和工程师有义务推广其工作成果的有益应用，并对其弊端予以警告。大学可以利用教职工的专业知识及其号召力，来评估哪些可怕的情景、生态威胁或技术应用不当带来的风险可视为科幻小说，不予考虑，以及怎样才能最好地避免出现真正严重的问题。

但是，除非有足够的选民支持这样的政策，否则政客们不会优先考虑这些必需的全球性长期措施。因此，专家们必须扩大他们的影响力。他们需要与非政府组织合作，借助博客和新闻的力量，获得有魅力的人和媒体的支持，从而扩大他们的影响力。教皇方济各的通谕《愿祢受赞颂》[21]在2015年巴黎气候大会筹备阶段产生了全球性的影响力。

2019年5月，如果没有英国国民“教皇”David Attenborough主持的《蓝色星球II》节目，我怀疑当时的环境部长Michael Gove根本不会对非降解塑料垃圾问题采取行动。在这档英国广播公司制作的节目中，信天翁返回巢穴把塑料碎片反哺给后代的场景尤为揪心[22]。

看到年轻活动家的队伍日益壮大，尤其是看到出类

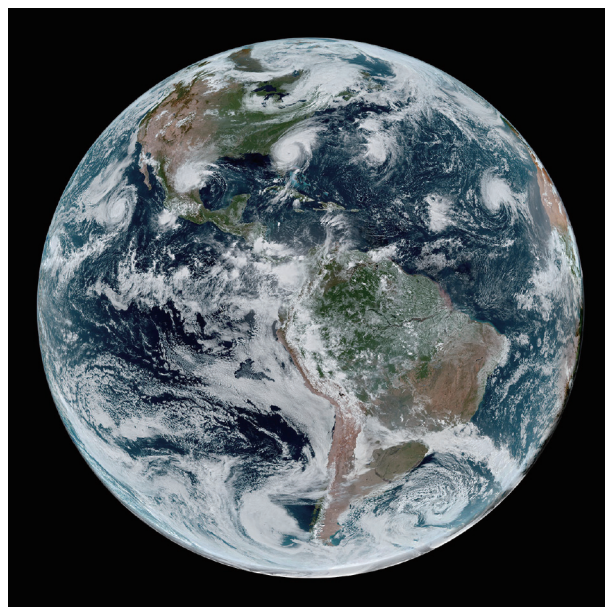


图4. 人类不可能集体逃离至一个“B星球”，撇下我们在变暖的地球上面临的日益严峻的挑战。如图所示，2019年9月4日，松散的热带气旋在西半球盘旋。图片来源：美国国家航空航天局（NASA）地球观测站/Joshua Stevens；美国国家海洋和大气管理局（NOAA）国家环境卫星、数据和信息服务中心。

拔萃的Greta Thunberg，实在是鼓舞人心。这也不足为奇，因为现在的年轻人有望活到这个既关键又特殊的21世纪末。他们组织的活动受到欢迎，他们的投入让我看到了希望。

“地球号宇宙飞船”在虚无的太空中横冲直撞，里面的乘客暴躁不安。他们的生命维持系统很容易遭到破坏，出现故障。但是，我们的规划不足，对大局的掌握太少。我们需要全球化的视野，理性思考，立足长远。21世纪的技术使我们强大，但除了科学手段，我们也需要正确价值观的指引。

Acknowledgements

Lord Rees would like to thank Sean O'Neill and David Egarter for their assistance in the preparation of this commentary.

References

- [1] Rees M. On the future: prospects for humanity. Princeton: Princeton University Press; 2018.
- [2] GBD 2017 Population and Fertility Collaborators. Population and fertility by age and sex for 195 countries and territories, 1950–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet* 2018;392(10159):1995–2051.
- [3] United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population

- Division. World population prospects 2019 [Internet]. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division; c2019 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>.
- [4] Probabilistic Population Projections based on the World Population Prospects 2019 [Internet]. United Nations; c2019 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://population.un.org/wpp/Download/Probabilistic/Population/>.
- [5] Magdy S. Dozens of refugees feared dead as boat bound for Europe capsizes in the Mediterranean Sea [Internet]. The Independent. 2019 Aug 27 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/refugee-boat-capsize-mediterranean-libya-sudan-rescue-a9080621.html>.
- [6] Bennett CE, Thomas R, Williams M, Zalasiewicz J, Edgeworth M, Miller H, et al. The broiler chicken as a signal of a human reconfigured biosphere. *R Soc Open Sci* 2018;5(12):180325.
- [7] Bar-On YM, Phillips R, Milo R. The biomass distribution on Earth. *Proc Natl Acad Sci USA* 2018;115(25):6506–11.
- [8] Collins M, Knutti R, Arblaster J, Dufresne JL, Fichefet T, Friedlingstein P, et al. Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate Change 2013—the physical science basis Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Internet]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2013 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/long-term-climate-change-projections-commitments-andirreversibility/>.
- [9] IPCC. Special report on global warming of 1.5 C [Internet]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; c2018 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- [10] EPA. Public health and environmental radiation protection standards for Yucca Mountain. Nevada (40 CFR Part 197) [Internet]. Washington, DC: US Environmental Protection Agency; [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.epa.gov/radiation/public-health-and-environmental-radiationprotection-standards-yucca-mountain-nevada-40>.
- [11] World Nuclear Association. Generation IV nuclear reactors [Internet]. London: World Nuclear Association; c2016–2020 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/generation-iv-nuclear-reactors.aspx>.
- [12] The Climate Change Act. 2008 (2050 Target Amendment) Order 2019. UK Statutory Instruments; c2019 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2019/1056/contents/made>.
- [13] Enserink M. Scientists brace for media storm around controversial flu studies [Internet]. *Science* 2011 Nov 23 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.sciencemag.org/news/2011/11/scientists-brace-media-storm-aroundcontroversial-flu-studies>.
- [14] Cyranoski D, Ledford H. Genome-edited baby claim provokes international outcry. *Nature* 2018;563:607–8.
- [15] Collins CH. Gene Drive. A genetic tool that can alter—and potentially eliminate—entire species has taken a dramatic leap forward [Internet]. *Scientific American*; c2018 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.scientificamerican.com/article/gene-drive1/>.
- [16] Baumgaertner E. As DIY gene editing gains popularity, ‘Someone is going to get hurt’ [Internet]. New York: The New York Times; c2018 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.nytimes.com/2018/05/14/science/biohackersgene-editing-virus.html>.
- [17] Silver D, Hubert T, Schrittwieser J, Hassabis D. AlphaZero: shedding new light on chess, shogi, and Go [Internet]. London: DeepMind; c2018 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://deepmind.com/blog/article/alphazero-sheddingnew-light-grand-games-chess-shogi-and-go>.
- [18] Kurzweil R. *The age of spiritual machines*. London: Penguin Random House; 2000.
- [19] Philipkoski K. Ray Kurzweil's plan: never die [Internet]. San Francisco: Wired; c2002 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.wired.com/2002/11/ray-kurzweils-plan-never-die/>.
- [20] Pengelly M. Elon Musk considers move to Mars despite ‘good chance of death’ [Internet]. London: The Guardian; 2018 Nov 25 [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.theguardian.com/technology/2018/nov/25/elon-muskmove-mars-chance-of-death>.
- [21] Francis Pope. *Laudato si’: on care for our common home*. Vatican: Vatican Press; 2015.
- [22] Quinn L. Filming albatross chicks eating plastic [Internet]. BBC; [cited 2019 Oct 13]. Available from: <https://www.bbc.co.uk/programmes/articles/3ddrZCyXkz37jtyb71K0nc4/filming-albatross-chicks-eating-plastic>.