2013年，福岛县川内村
© Winifred A. Bird

双林记

切尔诺贝利和福岛如何应对核辐射

2006年，乌克兰切尔诺贝利
© Donald Weber/VII/Corbis

为了撰写本文，Jane Braxton Little专程前往切尔诺贝利，Winifred A. Bird则多次探访福岛地区。对于拥有哈佛大学日本文化史硕士学位的Little来说，是福岛地区的核泄漏事故激发了她对辐射如何影响生态系统的兴趣，促成了她的首次乌克兰之行。Bird自2005年以来一直住在日本，从事自然资源方面的写作；2011年7月她为《环境健康与展望》报道了继日本东北地区海啸及地震之后的化学污染问题。她们目睹了灾难产生的影响，并在现场采访了居民和清理工人，这些都加深了她们对灾难管理问题及其科学原理的理解。

在福岛疏散区的一个狭窄而树木繁茂的山谷内，清冷的黄昏笼罩着几块梯田，这是Genkatsu Kanno终其大半生时间种植稻米和蔬菜的土地。他房间里透出的灯光照在这些如今已闲置的农田上，房间内几名男子弯腰围在一张矮木桌前，全神贯注地研究卫星图片和等高线图。

“你刚才说饮用泉水是在哪来着？”千叶大学（Chiba University）恢复生态学家Tatsuaki Kobayashi一边研究着一张山谷内的森林原野图，一边问道。Kanno伸出黝黑的粗手指，仔细地沿着泉水的上坡源头一路追寻到他的房子旁边。他现在仍然可以出入这幢房子，但是不允许住在那里。千叶大学水文学家Akihiko Kondoh认为，如果该地区下大雨导致洪水泛滥，那么泉水就可能被放射性铯污染。65岁的Kanno说他在考虑挖一口井，这样将来有一天他又可以在山谷里居住和务农了。

福岛第一核电站发生多起爆炸的1年8个月之后的这天晚上，这些人正面临着日本历史上又一个影响范围最大、最复杂的环境健康威胁：2011年3月爆炸产生的放射性尘埃在抵达福岛县中央的城市群之前，先是向西北方向漂移，掠过阿武隈群山（Abukuma Mountains）中的小块农耕山谷、蜿蜒的溪流以及框架梁柱式农宅。该地区居民的洁净水、野生食物以及木柴全都来自这片土地，这些森林以及像Kanno家那样林木环绕的社区现在都陷入了困境。

Kanno和他的邻居们提出的关于该地区森林以及居民健康的问题，在地方、县以及国家级会议上反复出现。并不是只有他们面临这些问题，世界各国的政府官员与科学家们几十年来一直在努力寻找遭受核污染森林的管理方法，以最大限度地减少对人群的辐射暴露。

虽然核反应堆及军事设施事故造成的严重环境污染可以追溯到20世纪50年代，然而直到1986年4月26日切尔诺贝利附近的弗拉基米尔·列宁号核电站的一个核反应堆爆炸后，如何处理遭受核污染森林的难题才真正引起公众的强烈关注。爆炸产生了大量放射性污染物，波及前苏联西部以及欧洲北部。放射性尘埃绝大部分落在了核电站附近的森林及原野上。

污染物带来的问题不会很快消失。虽然碘-131的辐射强度可以在短短8天内下降一半，但是铯137的半衰期为30年，钚-239的半衰期则长达2.41万年。前苏联官员立即采取行动疏散了该地区居民，以降低核污染产生的健康影响。自从1991年前苏联解体以后，该地区一直作为缓冲保护区来管理。这块土地大部分是无人区，树木及其它植物有助于保持污染状况的稳定。

这一策略已经成为全世界处理生态景观水平的严重放射性污染的首要模板。但是要使该策略生效，政府必须在广大范围内永久禁止人类居住，或者接受这样的现实：那些留下来的人会暴露于核辐射中，其强度要高于国际辐射防护委员会建议的一般人群参考强度。

与之相反，日本目前的恢复计划侧重于清除污染物质，让人们重返家园。在这种情形下，遭受核污染的森林就不再是一个缓冲区，而是一个公共健康威胁。

关于森林能否或者应该被清理的问题仍然颇具争议。福岛灾难发生两年后，日本政府还未决定究竟是遵循切尔诺贝利的森林管理模板，还是尝试为核污染后环境修复创建一个新模板。

切尔诺贝利灾难

前苏联官员在切尔诺贝利核电站4号反应堆爆炸后的第二天就开始疏散附近居民。截至1990年，35万多人从白俄罗斯、俄罗斯以及乌克兰污染最严重的地区撤离并得到重新安置，留下一个面积2600平方公里的地区，也就是现在的切尔诺贝利禁区。除了派去清理污染的紧急工作人员以及留下维护其他三个反应堆的工作人员以外，该地区荒无人烟。这三个反应堆也于2000年12月前陆续关闭。在与乌克兰交界以北，白俄罗斯管理着一个面积2160平方公里的禁区——波利西亚国家辐射生态保护区。

在表层土壤铯-137浓度超过1480 kBq/m^2的地区，切尔诺贝利居民均被强制撤离。即使是第一批撤离的居民，在离开之前的24小时内接受的平均有效辐射剂量也高达33 mSv（自然本底辐射的全球平均剂量当量大约为2.4

mSv/yr）。最先抵达的紧急工作人员受到的辐射剂量最高——达数百mSv，其中134人罹患急性放射病。

在疏散过程中，禁区之内以及以外的居民仍然继续饮用牛奶并食用本地产的食物，这些饮食都已被碘-131污染，因而导致了甲状腺癌病例的急剧增加。事故发生后的头几个星期，远在基辅的居民也担心高浓度的碘-131会污染饮用水，然而乌克兰农业放射学研究院的主任Valery Kashparov声称，人们所担心的辐射污染根本没发生。

事故以来的死亡人数无法确定，部分原因是由于很难区分辐射引起的癌症与其它癌症。切尔诺贝利论坛——2003年由联合国数个机构为评估切尔诺贝利事故影响而成立的小组——估计将有4000人最终死于切尔诺贝利辐射直接导致的癌症。其它估计值最高的超过100万人。

科学家们不清楚森林及草原环境在调解人类辐射暴露中究竟发挥怎样的作用，但是他们知道在这次核泄漏事故中，数千公顷的乡村地区遭受严重污染。森林和原野遭受到浓密的放射性尘埃污染，其中包括铯-137、锶-90、多种钚同位素以及其它十多种放射性核素。

事故发生后，前苏联政府采取了措施以降低来自污染区的长期辐射暴露。大约60万名清理工人的任务包括：在最致命的放射性尘埃所及之地，把一块面积4平方公里的欧州赤松林全部砍倒、铲平然后埋掉。由于树木死亡之前松针呈现一种肉桂红色，“红树林”这个工人们为该地区起的绰号也就流传开来。但是乌克兰农业放射学研究院放射生态监测实验室负责人Vasyl I. Yoschenko指出，其它受辐射影响的森林并没有得到任何处理。为了阻止落在该地区水道内的放射性核素扩散，工人们修建了一系列堤坝，以防止洪水涌入普里皮亚季河（Pripyat River）然后进入第聂伯河（Dnieper River），最终流经基辅汇入黑海。大部分污染物沉入河流及水库底部的沉积物中，状态相对比较稳定。

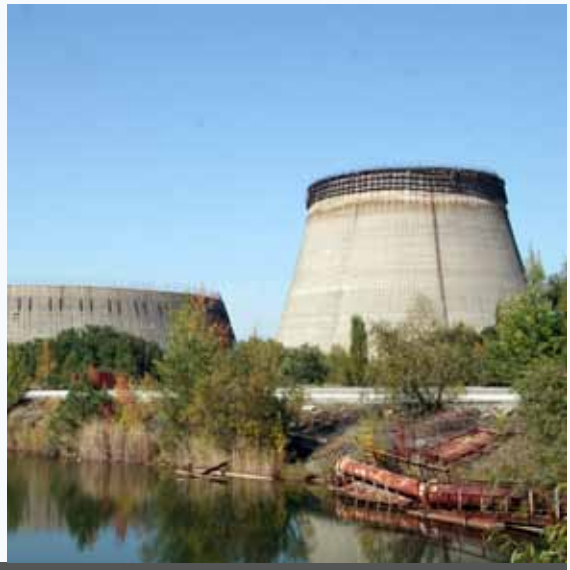
整个禁区内只有污染最严重的地区进行了处理。一些草地的地表土被铲除并掩埋，切尔诺贝利镇内的建筑物进行了喷沙清洗。道路被重铺，整个村庄被铲平后掩埋。但是广阔的污染区仍然保持着当时放射性尘埃到达时的样子：没有完工的建筑工地上，吊在起重机上的钢梁悬在半空中，农家院落人去楼空，粉刷成白色的厨房现在成了鼠类乐园。在废弃的普里皮亚季市，一个生锈的摩天轮俯瞰着脚下杂草日益蔓延的游乐园。

由于树苗无人修剪，农田无人耕种，自然生态演替开始逐渐地改造景观地貌。乌克兰农业放射学研究院调查员Yuriy Ivanov的数据表明，灾难发生前该地区森林覆盖率为53%，现在则达到了87%。曾经的奶牛牧场、麦田以及亚麻田如今已被欧洲赤松为主的树林取代。穿过普里皮亚季城外坑坑洼洼的土路，可以看到一片貌似迷人的田园风光：空旷的原野上散布着茁壮的松树与桦树，绿色的树叶在柔和的晨光中泛着金黄，白色的树皮闪烁着清冷的光芒。即使那些对辐射比桦树更敏感的松树，大部分看起来似乎也无异样。

尽管27年过去了，切尔诺贝利禁区仍然是地球上污染最严重的地区之一。禁区土壤内铯-137的含量从大约37 kBq/m^2（前苏联当局所使用的有害污染阈值）到75000 kBq/m^2，呈现出随机分布，反映了在10天的事故中放射性核素的释放情况。在“红树林”内，事故发生后种植的松树在生长过程中缺乏主树干，于是形成了一种样貌奇特的矮树丛，更像灌木而不是树木。有些地方污染太严重，针叶树无法自然再生；南卡罗来纳大学的生物学教授Timothy Mousseau指出，松树很少在放射剂量超过30 μSv/hr的地区生长。

自从事故发生以来，空气中的放射性核素已经迁移到森林土壤内，而且大部分都滞留下来。一项关于“红树林”内土壤污染的研究发现，2001年监测到的锶有90%位于10厘米厚的表层土壤内。位于基辅的乌克兰国立生命与环境科学大学的林业副教授Sergiy Zibtsev认为，森林的角色亦功亦过。树木、草、其它植物及真菌通过其基本生命周期把放射性核素保持在森林内：当树叶和针叶通过蒸发释放水份时，植物会从根部吸收更多的水份。铯及锶的水溶性盐分别与钾盐及钙盐化学结构类似，因而可以取代这些关键营养成分而被植物吸收。Zibtsev解释道，因此在常青林内，随着季节更替放射性核素会逐渐积聚在针叶内。针叶落在地面上，成为覆盖森林地表的废弃物，从而将这些放射性盐返还到土壤表层，Zibtsev说这样一个自然周期长达10到12年。他又补充道，如果没有树木或其它永久性地被植物，污染物就会迁移出来，被风吹走或被水冲走。

那些生活在禁区旁边的人们，他们的工作、食物、燃料及其它资源全都要依靠森林，自然会为此付出一定代价。许多人仍然住在铯-137土壤浓度高于37 kBq/m^{2}的地区。尽管政府作出了规定并大力宣传其危险性，人们还是继续食用蘑菇、浆果以及其它当地林产品。蘑菇是当地最具代表性的产品，然而其放射性铯含量却特别高。森林中大多数食用菌内的铯-137含量从2005年到2010年间减少了20%～30%。但是对于那些摄食网络（菌丝体）更加深入土壤的物种，在放射性核素向更深土层迁移的同时其铯-137含量也随之增加。到2006年仍有40个社区的牛奶放射性超过允许水平，这些



顺时针方向（从左上图开始）：普里皮亚季市，曾经是酒店房间内的地毯上长出一棵树来，可能是风把种子从破碎的窗户吹了进来；“红树林”内一棵20岁的欧洲赤松由于长期暴露于核辐射而呈现出严重的形态学改变；切尔诺贝利事故发生时5号与6号核反应堆尚未完工，就像该地区一样凝固在了过去那一时刻；两个妇女在白俄罗斯的威瑟柯叶（Visokoye, Belarus）附近采蘑菇，牌子上面写着“辐射危险！禁止种植与收获农作物，禁止采集牧草及放牧”。

Bottom left: © Caroline Penn/Panos. All others: Vasyl I. Yoschenko

社区的牛群都是在被铯-137污染的草地上放牧。

切尔诺贝利污染同时也影响非人类居住区域。Mousseau指出，由于该地区没有人类活动，所以吸引了大量的野生动物如驼鹿、狼、啮齿类动物以及鸟类等等，然而在这样一个几乎不受人类社会影响的地区，它们的种群却不如预期的那么丰富多样。他和同事们发现高辐射地区比低辐射地区的哺乳动物数量少；还发现与低辐射地区的同类相比，鸟类出现寿命减少、雄鸟生育能力下降、脑容量较小以及遗传突变——严重基因损伤的表现——等现象。

科学家们认为切尔诺贝利森林与草原生态系统现在处于一种“自我修复”的状态。乌克兰紧急事务部2006

顺时针方向（从左上图开始）：袋子里装着来自福岛县饭馆村的污染土壤；福岛县川俣町的放射性核素监测塔；川内村一户居民家背后的试验性去污染处理；林业及建筑工人在大玉村的安达太良森林公园内参加森林净化培训。

All images: Winfred A. Bird

年的一份报告指出，放射性核素正在土壤与植被中缓慢地重新分布，这个过程有望持续数十年。乌克兰法律规定，该辐射禁区要作为一个屏障区来管理，通过这些自然过程来治理污染，1986年沉积在此的所有污染物必须保持在这片戒备森严的区域之内。禁止在该区域居住以及从事商业性林业等经济活动，以防止受污染的物质离开该地区。

乌克兰官员相信他们的治理措施已经成功地将事故产生的放射性污染物限制在禁区之内。他们正在修建一个价值20亿美元的巨大拱形结构——一种新型安全限制设施，将4号反应堆转

变成一个“生态安全系统”。紧急事务部的官员认为强制疏散区内的一些地区已经足够安全，可以开始计划一些项目比如放射性废物贮存以及生物质燃料发电厂。

福岛灾难

然而，日本目前既没有计划在污染区内永久禁止居住，也没有打算让居民们暴露于核灾难后急剧升高的核辐射。日本政府正试图另辟蹊径。

2011年3月福岛核电站熔毁后，日本政府立刻疏散了附近居民。疏散区比切尔诺贝利疏散区要小，但是人口要稠密得多，包括11个城市的海岸线、农场及森林。至少有15.7万人不是被责令离开该地区，就是从福岛县其他地区自愿撤离。但是到了2011年夏天，中央政府已经启动了恢复计划，旨在让居民重返家园。

策略重点是广泛去除污染。截至2014年初，除了污染最严重的地区——暴露于居民的空气剂量率超过50 mSv/yr的地区——以外，禁区内所有房屋、道路、农田、公共建筑、距离居民区20米以内的树木繁茂地区的铯与其它放射性核素的同位素将会被全部清除。政府认为从长远来看，这意味着将福岛的放射性物质空气剂量率控制在1 mSv/yr之下，然而2014年的具体目标则保守得多。有些指标的减少可以通过自然衰变而实现，因为福岛县半衰期较短的铯-134的比例要比切尔诺贝利地区高。而其他目标的实现则需要人们的努力。

日本环境省负责灾区恢复项目，其预算仅2013年就超过60亿美元。禁区以内由中央政府直接负责监督工作进度，而禁区以外则由地方政府管理工作进程。很快承包商们和普通市民们就开始对整个福岛东部及中部的房屋、道路、学校的表面进行冲洗与擦拭，吸除那些看不见的放射性微粒，同时挖土机把田野的表层土壤以及公园的草皮铲除。在房子附近的林地内，人们耙除了树叶，砍掉了位置较低的树枝。

这些工作继续着，其功效参差不齐。瓷砖等光滑表面的放射性铯可以洗掉或擦掉，但是放射性微粒很容易卡在不均匀材料的缝隙里，也可以牢固地黏附在黏土上。俄勒冈州立大学核工程与辐射健康物理学系负责人Kathryn Higley指出，大面积植被覆盖地区如公园与花园的去污染化，通常意味着清除并处置黏附有放射性铯的所有物质。例如，草坪及杂草被剪除（而不是清洗），土壤则通常要铲除或深犁。这个过程是劳动密集型的，不仅昂贵而且容易出现偷工减料现象。更糟的是，下雨、刮风、动物以及人类都可以使这些受过辐射的碎渣发生位移，使已经清理过的地区发生二次污染。随着清理工作的进行，很多福岛居民在接受采访时说他们怀疑森林坡地是二次污染的重要来源，不过还没有研究证实这一点。

然而对于如何处理核电站附近覆盖该县大部分地区的落叶及常青混合林，日本政府一年多来一直保持沉默。环境省最终于2012年7月初成立了一个委员会，探讨森林治理问题。委员会在当月底拟定了一些初步建议，会直接影响到最终指导方针的制定。这些指导方针将确定如何处置由环境省直接负责清理的禁区内森林，以及禁区外的哪些措施可以获得补贴（截至2013年2月指导方针终稿仍然没有发布）。委员会认为不需要对整片森林进行去污染处理，并指出从大片森林中去除残枝落叶可能会导致土壤侵蚀以及林木健康受损，而疏化林木也没有必要，因为该措施只会轻微降低放射物空气剂量率。

委员会是根据日本政府资助的一些研究结果提出的这些建议，这些研究表明目前森林中的放射性核素只有一小部分可能通过水或空气扩散出去。委员会还引用了国际原子能机构（International Atomic Energy Association, IAEA）福岛事故调查团于2011年10月出具的一份报告，告诫过度去污染化可能代价高昂而且会产生大量废物，却无法显著降低核辐射暴露。国际原子能机构的报告建议日本政府应该限制人们进入森林以及使用林产品，日本政府已经对蘑菇、野味、蔬菜、栽培食用菌的土壤改良剂及木屑基质、木柴以及木炭采取了限制措施，然而值得注意的是并没有对木材加以限制。日本政府自行制定的污染处理方针要求优先清理对人体健康影响最大的地区，正是在这一背景下，环境省委员会才声称没有必要对森林进行大范围去污染处理。

这些建议立刻引发了福岛县的强烈谴责。当地与县级官员以及林业代表轮番声讨该项建议，斥责其为一个以城市为中心的自上而下的决定，忽视了农村居民与周围森林环境之间的紧密联系，同时指出该决议没有考虑到福岛与切尔诺贝利之间存在的差异——日本东北部地区地势陡峭复杂而且雨水丰富，人口稠密的农耕区与森林紧密交织在一起。虽然切尔诺贝利周围的森林承受而且限制了大量的污染，但是许多人怀疑福岛周围的森林能否或者应否发挥同样的作用。

福岛县浪江町议会主席Kazuhiro Yoshida是前往东京向时任环境大臣Goshi Hosono亲手递交请愿书的人士之一，呼吁对森林进行大范围清理。浪江町有大片森林，而且毗邻事故核电站的西北方，地处禁区之内，其辖区内有着全日本污染最严重的土地。

“田园生活的吸引力在于我们可以在山上喝泉水、吃野味。如果把这些都限制了，那就不是生活，而是生存了，”Yoshida说道。他反对那种只是

对受污染森林进行限制的观点，也担心富含污染物的泥土会从山坡林地中流入浪江町的稻田及水库内。Yoshida认为，除非采取措施减少森林、农田以及农家的放射性核素含量，否则居民不可能安全。

土壤资料显示，灾难发生后的5个月内，森林环境中44%～84%的放射性铯已经落在地表上，大部分位于枯枝落叶上以及5厘米的表层土壤内。任何可以导致土壤侵蚀的活动比如道路建设、暴雨、甚至去污工作本身都可能将这些污染物带到山谷内的地表上，而这里往往是人类聚居区。政府研究表明，那些出现在湖底、河鱼体内、山坡林地的山泉水浇灌的稻田中的放射性核素（有时浓度很高），只有一小部分来自森林。关于该问题的经过同行评议的研究为数很少，其中一项研究（尚未发表）的调查人员将福岛县两条小河的河水中放射性铯含量与其分水岭处放射性铯的估计值进行了比较，估算出在2011年其中一个分水岭0.5%的污染物和另一个分水岭0.3%的污染物流入了这些河流，均发生在降水及洪水期间。

日本政府资助的林业及林产品研究院的科学家们表示，他们正在计划研究长期模式。该院的土壤科学家Shinji Kaneko认为，总体来说，日本的森林覆盖率高而土壤侵蚀率相对较低。研究院与林业部门联系密切，已经成为一个重要的辐照森林研究中心。从长远来看，福岛县东部常见的黏土土壤，可能会比切尔诺贝利周围的沙质土壤及泥炭土壤限制住更多的放射性铯。Kaneko预计这会降低污染物向地下水及野生植物转移的速度。

遭受核污染森林附近的许多居民以及从事森林治理的人们并没有因为这种预测而感到安心。Shigeru Watanabe是负责森林维护的福岛县官员，他认为如果不对森林进行处理，“人们就会感到生活在这里很不安全，”他表示福岛县正在极力争取进行大范围去污染处理。

然而，去除枯枝落叶或者整棵树木会产生大量低水平放射性废物。福岛县已经疲于处置清理出来的数百万立方米的放射性碎渣。林业及林产品研究院科学家的一项研究表明，仅从污染最严重的森林中铲除5厘米表层土壤及之上的所有物质——落叶、树枝、树木以及灌木丛——就会产生210亿公斤废弃物。研究人员认为只去除枯枝落叶是最高效的去污染措施，但是必须在放射性微粒迁移到土壤深处之前进行。在研究小组分析的每块样地中，枯枝落叶的重量只占森林成分的3%，但是截至2011年夏季它们却含有样地中22%～66%的放射性微粒。

县政府官员希望能采取更多措施。日本林业厅的一项调查表明，放射性铯大致有一半分布在土壤及枯枝落叶中，另一半在树叶、树干和树枝上（而在那些灾难发生时还没有长出新树叶的落叶林中，放射性铯则主要分布在森林地表）。Watanabe说在福岛县单独进行的试验表明（结果没有公开），将林木疏化三分之一的措施把辐射降低了23%，如果再加上去除枯枝落叶所减少的辐射量，则“大概降低一半左右”。森林管理局官员Norio Ueno表示，该县计划2013年开始利用中央政府拨款在私人拥有的森林内进行林木疏化。

但是林业厅发现，林木疏化所产生的效果，只能达到Watanabe声称的福岛县试验中效果的一半。随着时间的推移，砍除树木的有效性也许会更低：在切尔诺贝利，土壤以上的林木部分所含污染物占森林总污染物的比例不到20%，而且这一比例还在稳步下降。

接受本文采访的许多福岛县居民怀疑森林去污染化措施是否有效，还有人认为该计划只是个公关噱头。实际上大范围去污染处理很难实现。福岛县也有人建议，与其将巨额款项支付给负责清理工作的建筑公司，还不如用于永久移民，包括那些虽然住在禁区以外但是由于居住区受污染而惴惴不安的人们。针对来自福岛县的压力，环境省于2012年8月作出回应，宣布将重新考虑拟定的森林政策。两个月后，环境省宣布计划成立一个工作组，以考虑林木间伐与皆伐措施。

两种途径

Ueno表示，广泛去污染措施的支持者认为，该措施除了保护公众安全以外还有很多好处：可以种植更多的用材林（灾难发生之前已经有数千公顷的林地迫切需要间伐）、增加就业，而且如果把废渣运到生物质能发电厂进行燃烧发电的话，也是一种可持续能源。川内村正在积极寻求生物质发电的可能性。该村位于福岛第一核电站以西的深山里，村政府职员Morie Sanpei说灾难发生后村里人口从3000减少到了750。Sanpei负责生物质发电厂计划的调研，他说这片茂密的森林中分布着小块的居民区，村政府希望能间伐其中50%～70%的树木，然后运到拟议的5兆瓦发电厂进行燃烧发电。福岛县政府也在2013年2月宣布计划修建一个12兆瓦的生物质发电厂，用于处理该县拟议的森林去污染项目的间伐树木。

环境省声称，标准过滤器可以将焚烧产生的烟雾中的放射性铯过滤掉99.44%～99.99%。这些估计值来自于白俄罗斯的生物质焚烧炉试验结果，该生物质焚烧炉是切尔诺贝利生物质能源项目的一部分，一个多年的国际森林治理倡议项目。该项目的研究人员得出结论：烟雾的健康风险“如此之低以至于根本不是问题”。他们还预测，只要生物质发电厂经过精心设

计而且工作程序计划完善，工人们所接触到的来自木材或灰烬的辐射会非常低。

但是京都大学的核工程师及反核电人士Hiroaki Koide认为，小型生物质发电厂在福岛地区的扩散存在一定风险，如果缺乏专业知识的地方官员被迫厉行节约，他们可能会在关键安全防范措施上偷工减料。Sanpei指出，实际上对川内村来说成本是一个重要考虑因素。他认为虽然高度机械化的加工生产线降低了工人暴露于污染物的程度，但是同时也增加了建设成本，很可能会超出地方政府的负担。

利用焚化炉对福岛地区的放射性尘埃进行集中限制，其显著优势是可以把放射性核素从居民区清除。但是切尔诺贝利的科学家警告说，不加控制的燃烧辐照木材的结果将适得其反——会把污染物从当前位置散播到其他地区。随着时间的推移，切尔诺贝利禁区内树木及其它地表植被捕获放射性核素的自然方式已经显示出了不足之处。林业教授Zibtsev指出，在大约1800平方公里范围内生长的那些林木很大程度上无人管理。Nikolay Ossienko是在禁区内工作的森林消防队员之一，他说他和同事们只能移除一些死树以及垂死的树木，勉强达到减少火灾隐患及维护道路供消防车辆出入的最低间伐要求。

随着树木的成熟与死亡，更多的阳光穿透树冠、灌木及其它低矮物种开始生长。因此切尔诺贝利的森林正在形成所谓的“燃料梯”植被，它们可以使火苗蔓延到树冠，再从树梢蔓延到其它树梢，形成所谓的“树冠火”。Zibtsev认为如果缺乏有效的森林管理，再加上气候变化导致的干燥趋势，切尔诺贝利可能会发生灾难性火灾，其严重程度将不亚于美国西部日趋频繁的森林大火。在2009年一项关于禁区植被火灾的研究中，美国林务局大气化学家Wei Min Hao及共同作者得出的结论比较低调，认为这种状况下“容易发生灾难性火灾”。

Zibtsev指出，切尔诺贝利的潜在火灾与美国的火灾之间的关键区别在于，这些森林中充满了放射性核素，一旦燃烧起来就会释放出含有放射性铯、锶及钚的可吸入性细颗粒物。乌克兰农业放射学研究院的科学家在核电站附近一块9000平方米的土地上进行了一次实验性地表焚烧，以评估烟雾走向以及烟雾中放射性核素的浓度。Yoschenko说低强度的地表燃烧持续了90分钟左右，释放出地表生物质内铯-137及锶-90含量的4%。他还指出高强度的树冠火可以从燃烧的针叶中释放出更大量的放射性物质。另一些研究则预测切尔诺贝利的树冠火可能把这些污染物传输到“数百到数千公里”以外的居民区，最坏的情况下可以导致政府持续对污染的牛奶、肉类及蔬菜进行限制。

这就是切尔诺贝利悖论。“健康的森林是人类的朋友，燃烧的森林则是人类的敌人，”Zibtsev说道。

宇都宫大学（Utsunomiya University）的森林生态学教授Tatsuhiro Ohkubo认为，与乌克兰相比，日本的森林火灾——尤其是灾难性火灾——风险较低，而且仅限于短暂的春季干旱时节。尽管如此，这些数据仍然令日本官员及林区居民感到十分困扰。

作为世界上最严重的核电站事故所在地，日本与乌克兰都面临着共同的挑战：全力保护那些希望重返农村社区的国民——森林曾给予他们庇护、纯净水源、食物、木柴以及田园生活。无论日本选择切尔诺贝利模式——让森林缓慢而自然地恢复，还是进行去污染处理，当地居民都将不可避免地付出一定代价。

家住福岛市的Mizue Nakano是两个孩子的母亲，她目睹了两个十几岁女儿的健康恶化。出于对女儿们疲乏、鼻衄以及腹泻症状的担忧，她把小女儿送到了6小时车程以外的亲戚家。虽然这些症状可能是由压力导致，但是和大女儿一起留在福岛市的Nakano仍然非常谨慎地限制她的户外活动时间。失去了与城市周围森林的情感联系，Nakano深感痛心。“我简直无法相信，以后我们不能带着孩子们到野外去了，”她说道。然而去污染处理让她别无选择，“即使可以把森林净化，我也不想再住在那种地方了。”

Winifred A. Bird，居住在日本长野市，自由撰稿人。她的作品发表在《日本时报》（*Japan Times*）、《科学》（*Science*）、《耶鲁环境360》（*Yale Environment 360*）、《居住》（*Dwell*）以及其他出版物。

Jane Braxton Little，居住在加利福尼亚州的Sierra Nevada，专门撰写科学及自然资源方面的文章。她的作品发表在《科学美国人》（*Scientific American*）、《美国森林》（*American Forests*）、《洛杉矶时报》（*Los Angeles Times*）以及《奥德班》杂志（*Audubon*），她也是该杂志的特约编辑。

本文作者的差旅费由环境新闻记者协会（Society of Environmental Journalists）资助。

译自*EHP* 121(3): A78–A85 (2013)

翻译：周 江

★本文参考文献请浏览英文原文

原文链接

http://dx.doi.org/10.1289/ehp.121-a78