



地质时期的 CO₂ 及其温室效应

王贵勇* 董光荣

(中国科学院兰州沙漠研究所)

摘要 本文对当前流行的人类活动导致 CO₂ 增加使未来气候变暖的温室效应的说法提出质疑。研究表明,自大气圈形成以来,CO₂ 已由原始大气主要成分(91%)波动下降到现在的微量组分(0.034%),其演化过程主要受自然因素控制。当前 CO₂ 浓度增加是人为因素与自然作用叠加的结果,并不一定是人类活动或工业革命的产物。与此同时已经证实,冰期降温不是因为 CO₂ 减少、温室效应减弱,而近年 CO₂ 增加,温室效应加强又未得到确证。因此,以未来人为活动导致的 CO₂ 变化趋势预测气候变化及可能的环境影响还为时尚早。

几年前,科学家们预测^[1,2],地球正面临一次冰期,并对整个世界在冰期来临时可能受到的影响表示担忧。今天,很多学者^[3-7]又惊呼人类活动导致 CO₂ 增加的温室效应将使世界面临一个超级间冰期,从而可能导致极地、高山的冰雪融化,海平面上升,严重危及沿海城市安全和工农业生产建设,有些学者^[6,7]还推测,CO₂ 增加及温室效应可能破坏生态平衡、引起沙漠化在内的一系列重大环境问题。因此,关于 CO₂ 增加及其温室效应的问题已引起各国政府、学者的高度关注。随着这项研究的深入,很多学者认为,CO₂ 的温室效应可以作为全球气候变化的一个重要因素,并以此解释地球发展历史中一系列重大的环境演化问题。

目前,国内在这方面的研究尚处空白阶段。本文收集了部分国外研究的成果,拟以大气 CO₂ 的演化历史为基点,讨论 CO₂ 在地球演化中的变化及其复杂的成因,以评定 CO₂ 温室效应作为全球气候要素的可能性,从而对 CO₂ 温室效应为基础的气候预测提出质疑。

一、CO₂ 的起源与演化

就目前对行星大气的了解,地球现在的大气圈在太阳系中是最特征的。其主要成分是 N₂(78%)和 O₂(21%),CO₂ 仅占 0.034%。

原始地球表面同现在的月球相似,并无大气圈、水圈和生命圈的存在。地球形成之后,由于其内部逐渐增热,熔化并引起火山喷发,伴随火山活动放出了大量气体,主要是水蒸汽、CO₂、CO 及少量其它

气体。水汽冷凝形成原始海洋——水圈,剩余的气体形成以 CO₂ 为主的原始大气圈。据 Rubey^[8] 计算,当时大气中 CO₂ 的体积浓度约为 91%。由于当时太阳发光度较现在低 30—60%,Sagan 等^[9,10] 提出,应有大量的 H₂ 及 NH₃、水蒸汽等温室效应气体补偿较低的阳光辐射值,以保证地表气温足以满足生命活动的需要。但多数学者认为^[11],大量 CO₂ 的温室效应可以保持地球较高气温,后来太阳辐射值升高,地表气温却在下降,可能与 CO₂ 浓度逐渐下降有关。

地球上生命出现之后,大气演化过程变的复杂起来。其中关于氧气的大量出现是比较确认的。一个令人信服的例证是 18—20 亿年左右出现了红色残积层和铁矿(氧化铁),反映了大气圈已由早期的还原环境转化为氧化环境^[12],而绿色植物的光合作用是形成这一氧化环境的重要因素。生命活动必然联系到 CO₂。最早的自养植物是 32 亿年前的蓝绿藻,此后的布拉维群含铁碳酸盐建造(已知最早的碳酸盐岩,主要是白云岩^[13])的存在,是由于生物活动使海洋中的氧气达到某一临界值和 CO₂ 浓度的降低所出现的一个物理化学事件,但不是蓝绿藻残体堆积。叠层石的出现(20—28 亿年)伴随着碳酸盐的形成,被认为是由于生物呼吸的 CO₂ 引起方解石局部沉淀。此后地层中碳酸盐沉积广泛出现。在这之前,碳酸盐岩的普遍缺失,除了缺少生物作用之外,

* 在读硕士研究生。

可能与较高的 CO_2 分压和较低的海水 pH 值所导致的碳酸盐溶解作用有关。元古代碳酸盐岩的大规模发育,可能导致大气 CO_2 稳步减少。

关于显生宙的大气成分,研究仍很少。Pohob^[11] 认为,这一时期 CO_2 活跃于大气圈、水圈和生物圈组成的平衡系统中。布德科^[12] 进一步假定,单位时间间隔内沉积物中的碳含量与大气中 CO_2 浓度成正比,并据此推算出显生宙大气 CO_2 浓度介于 0.1%—0.4% 之间。中生代末期, CO_2 浓度逐渐降低,但不止一次地出现增长趋势。上新世, CO_2 浓度降到最低值,较显生宙的平均浓度小数倍。

第四纪晚期大气 CO_2 的研究比较可靠。Bar-mola 等^[13] 利用南极的苏联“东方站”(Vostok)冰岩芯中的气体分析了 16 万年来大气 CO_2 的浓度介于 180 ppm—300 ppm 之间,变化的主周期约 10 万年,循环变化的周期约 2.1 万年。与此同时,温度变化幅度约 10°C ^[14]。

十九世纪中叶之后,大气中的 CO_2 逐渐增加。在 100 多年时间里, CO_2 浓度由 0.028% 增大到 0.034%^[15]。1958 年地球物理年,美国在夏威夷 Mauna Loa 火山岛开始监测大气 CO_2 ^[16], 1958 年大气 CO_2 浓度为 315 ppm,至 80 年代初已接近 340 ppm。1968 年前,年增长量不到 1 ppm,近年已接近 1.5 ppm。整体呈上升趋势, CO_2 浓度年波动值为 6 ppm,极大值在四月份,极小值十月份。

以上介绍了地球演化历史中不同时间尺度的 CO_2 变化情况。由此可见, CO_2 的变化是由来已久了,并非人类出现或工业革命之后的新产物。一些经典观点认为^[17],高浓度 CO_2 的原始大气不适合生命的生存,只有当大气 CO_2 浓度接近 0.03%,压力为一个大气压时,才有利于生命的开始。显然这是不符合地质事实的。Vostok 冰岩芯中测得的冰期大气 CO_2 含量已低于 0.02%,布德科计算的显生宙大气 CO_2 含量可达现代的 10 倍,种种迹象表明,地球演化历史中大气 CO_2 浓度是很高的。但那时生命已经出现,而且在显生宙,生物界得到了快速发展,煤系地层广泛发育更是古植物界大规模繁盛的直接证据。因此,地球生命出现以来,大气 CO_2 并非长期处于稳定低值状态。至于目前 CO_2 增加是处于演化历史的那一阶段,还有待于进一步确证。

二、 CO_2 变化的机制

大气 CO_2 含量的变化,反映了大气圈与水圈、生物圈及岩石圈之间的相互作用。人类出现之后,

这个复杂体系内部的相互作用更趋复杂化。自然界碳总量及同位素组成见表 1^[20]。

表 1 地球表层碳含量与同位素组成

保存形式	含碳总量 ($\times 10^{13}\text{g}$)	平均 $\delta^{13}\text{C}$, C(‰)
碳酸盐沉积物	610,000	+1.0
有机碳沉积物	130,000	-23
海洋溶解的碳	350.0	0
大气 CO_2	6.0	-7
陆地生物	8.4	-26
土壤腐殖质	12.0	-25

由表 1 所见,地球最大的两个碳源是碳酸盐岩和有机碳,从地球早期富含 CO_2 的大气圈到现在的大气圈, CO_2 显然大量地减少了。在这个过程中,海相碳酸盐的沉积是最重要的因素,其次是有机碳沉积。

风化作用是岩石圈和大气圈进行 CO_2 交换的途径^[20]。现在大气圈每年约有 10% 的 CO_2 (相当于 $0.45 \times 10^{13}\text{g/a}$ 的碳)消耗在风化作用中。大气 CO_2 极大增加,将使降雨酸度增加,土壤层 CO_2 含量增加,从而加速风化作用。河水将碳酸根搬运到海洋中,最终以碳酸盐的形式沉积。碳酸盐沉积过程中,有 $0.22 \times 10^{13}\text{g/a}$ 的碳返回大气圈,硅酸盐沉积有 $0.16 \times 10^{13}\text{g/a}$ 的碳返回大气,大气年净损失为 $0.05 \times 10^{13}\text{g}$ 碳。估计由风化作用控制的 CO_2 循环周期为百万年。

海水中溶解的碳约为大气的 60 倍。如果海水 CO_2 分压大于大气 CO_2 分压,海洋就向大气放出 CO_2 ; 反之,海洋就从大气中吸收 CO_2 。这一平衡在高纬表现为海洋吸收 CO_2 , 低纬海洋放出 CO_2 。海水 CO_2 分压与海温有关。海洋上层 400m 内温度升高 0.5°C , 海洋表层 CO_2 分压将增加 3%,平衡之后,大气 CO_2 浓度将升高 2.5%^[21]。

深海碳酸盐的溶解容纳了大量 CO_2 。海洋表层生物吸收了浅海里的 CO_2 , 它们死后沉入深海不断的溶解、氧化,深海就产生了大量的 CO_2 。现以碳酸根形式溶解的碳已达 $3600 \times 10^{13}\text{g}$, 且每年增加 $1-2 \times 10^{13}\text{g}$ ^[22]。如果没有这个作用,大气 CO_2 浓度将增大五倍。此外,碳酸盐补偿深度的变化亦影响碳酸盐的堆积速率和大气 CO_2 的浓度^[22]: 补偿深度上升,碳酸盐堆积速率下降,大气 CO_2 浓度增加。

据杉浦吉雄计算^[23], 每年从海洋输入大气的

CO₂ 为 1.5×10^{16} g, 矿物燃料年输入大气的 CO₂ 为 1.0×10^{16} g, 共 2.5×10^{16} g CO₂ 进入大气; 海洋每年从大气吸收 2.0×10^{16} g CO₂, 相当于矿物燃料释放的 CO₂ 的一半被海洋吸收, 另一半滞留大气, 引起 CO₂ 浓度增加。在 Gorshov^[24] 模拟的碳循环中, 由于海洋强烈吸收 CO₂, 甚至烧完所有矿物燃料, 大气 CO₂ 浓度增加也不超过 35%—40%。

生物圈的有机碳达 2×10^{18} g, 埋藏有机碳达 1.3×10^{22} g。生物每年从大气中吸收 0.12×10^{13} g 碳, 每年有机质氧化的碳为 0.09×10^{13} g^[20]。因此, 短期内大气 CO₂ 增加可由生物碳和土壤碳的增加调节, 大气 CO₂ 的长期增加可由有机物沉积埋藏速率增加来控制。海相有机质沉积可使碳长期、稳定保存, 陆相除煤以外, 由于近地面的氧化作用, 保存时间很短。

植物养分的供给(主要是磷和氮)可以影响有机质的埋藏速率。有机质的埋藏带走了一部分营养物质, 没有营养物质, 生物的碳循环就不能平衡大气中 CO₂ 的增加, 现在植物很大一部分的养分来源于有机质的氧化。Tappan 认为^[25], 海陆高差小、气候稳定时期, 陆源物质极少, 洋流上翻效应减弱等导致植物营养不足, 浮游植物将因此而大量减少, 从而将大大影响大气中氧气的含量。据此推论, 上述原因造成的海洋植物衰减, 必将大大减弱海洋生物及海洋对 CO₂ 的吸收。

大气 CO₂ 的增加还可以增大植物的光合作用。据生理学方面的研究^[26], 大气中 CO₂ 分压升高, 可使高等植物基本生产量增加, 蒸腾作用减弱。Rahinovich 的实验表明^[14], 大多数自养植物在现代大气的 CO₂ 浓度下, 光合作用速率仅相当于最高速率的十分之一。但还没有证据表明, 自然生态系统可以反映 CO₂ 增加后的光合作用速度加快。自然过程主要受矿物养分控制。

火山作用贯穿整个地质时期, 火山喷发造成的 CO₂ 增加一直是引人注目的因素。布德科^[14]计算了显生宙以来火山活动强度(以火山岩的数量为代表)与大气 CO₂ 浓度, 两者关系密切。火山活动的高峰值伴随着 CO₂ 浓度的高值。新生代以来, 火山活动减弱, 大气 CO₂ 浓度逐渐下降。

工业革命后, 矿物燃料的大规模开发利用, 加速了有机质的氧化作用。70 年代后, 工业燃料每年向大气输入 5×10^{13} g 碳, 森林、土壤的破坏输送给大气的碳亦相当这一数量级 ($\times 10^{13}$ g)。因此, 多数

学者认为, 人为作用输入大气的碳量大于自然源输入量 ($\times 10^{13}$ g), 所以现代大气 CO₂ 的浓度增高是受控于人类活动的。但 Lamb^[27] 发现, Mauna Loa 高观测的 CO₂ 浓度增加的速率是变化的, 并存在 10 年周期的循环变化, 而这些变化的原因可能与海洋垂向环流和海水吸收速率的变化有关。

从上面的讨论, 我们可以看出, CO₂ 变化的因素是错综复杂、相互关联的, 如何正确看待各因素所起作用及各因素之间的反馈, 是这一问题的争论焦点。

自地球形成以来, 大气 CO₂ 浓度发生了很大变化, 在地质时期 CO₂ 浓度的变化幅度远大于现在, 而正是上述的自然因素控制了地质时期 CO₂ 的变化。显然, 进入人类历史时期和工业革命之后, 那些控制地球表面 CO₂ 演化的自然因素是不会消失的, 而且现阶段的 CO₂ 变化幅度还没有超出地质时期的波动幅度。关键的问题在于, 人为作用的方向与自然作用的方向是什么关系, 人为作用的幅度和周期在地质演化历程中处于什么位置。关于自然作用控制 CO₂ 的很多估计值是不全面的, 不同学者的估计甚至相差一个数量级, 但肯定的是, 自然作用控制着长久、稳定的过程, 人类活动是在自然过程基础上起着加速、减速或平衡抵消的作用。相对来说, 人的作用是短暂的、强烈的。尽管如此, 人类作用与自然过程中一些快速、强烈的作用相比也还是微不足道的, 如植物光合作用的季节变化可使 CO₂ 年波动值达 6ppm^[28], 这个年变化远远大于人为作用的幅度与强度。至于目前 CO₂ 波动中的缓慢增长趋势, 也有可能是一种我们还不了解的因素在尚未确定的一个周期里控制了大气中的 CO₂。

三、CO₂ 气候效应的讨论

CO₂ 于气候中的作用是在发现了它的“温室效应”之后才广泛受到重视的。早期利用温室效应原理计算 CO₂ 加倍后可使地表增温 8—9℃, 后来发现, 在 CO₂ 的吸收带中, 水汽也有显著的吸收作用, 故计算出 CO₂ 加倍仅使气温升高 2℃, 而且 CO₂ 浓度增大对温度的影响是随着其浓度增加而温度增加值减小^[14]。

近年研究表明^[29], 全球年平均向外空辐射 390 W/m², 而卫星测定只有 237 W/m², 另外 153 W/m² 的红外辐射为大气俘获, 所以现在地球年平均吸收的太阳辐射 237 W/m² 与地球向空间辐射的能量保持平衡。如果没有这个温室效应, 地表温度将由现

在的 288°K 下降到 255°K , 那将是一个冰雪覆盖的白色地球。

但是,关于 CO_2 温室效应的问题仍然不能令人满意。最近, Idso^[30] 对温室效应作了客观的评论。他根据近 1000 年来 CO_2 变化与温度、 $\delta^{18}\text{O}$ 的关系发现,在公元 16 世纪至 19 世纪末,全球是一次小冰期,但冰岩芯所记录的大气 CO_2 含量在 1200—1800 年间并无大于 10ppm 的波动,可是小冰期来临了。19 世纪末,小冰期结束,很多学者认为是工业革命后大气 CO_2 增加、温室效应加强的结果。他认为,促使地球进入小冰期并不是由于 CO_2 减少、温室效应减弱,所以冰期结束并不一定是 CO_2 增加、温室效应加强的结果。那个目前尚属未知的促使地球进入小冰期的冷却作用完全有可能是使地球重新恢复正常、摆脱小冰期的重要因子,这同时伴随的 CO_2 增加不过是巧合罢了。

CO_2 温室效应的变化能否做为冰期的成因是很多气候学家和地质学家所关注的。Frakes^[31] 是其中著名的代表人物之一。他在确证了 23 亿年的冰期并划分了三个阶段之后,用叠层石出现并吸收 CO_2 来解释冰期,结果发现冰川区碳酸盐出现在最老的冰碛岩之后,而 CO_2 的生物吸收至多只能有助于第二阶段的变冷,所以 CO_2 的减少并非冰期的原始起因。中晚元古代是全球碳酸盐岩广泛发育时期,有些学者又试图用 CO_2 的大量减少说明,23 亿年冰期之后气候将进一步变冷,但这时的碳酸盐岩已多是暖水成因。至于元古代末期的冰期问题,尽管还有待于进一步确证,Frakes 还是把这次冰期同 CO_2 减少联系起来,证据是冰碛岩与灰岩、白云岩沉积密切共生。板块构造兴起后解释了石炭二叠纪冰期,那是当时冈瓦纳古陆漂移到极地的缘故。

第四纪晚期的 CO_2 浓度波动不过 100ppm,而温度变化却达 10°C ,显然, CO_2 浓度的变化不是温度变化的根本原因,可能是温度变化的结果。这结果具有正反馈作用,加剧了气候变化,使二者呈现互为因果、相互反馈的复杂关系。据 Genthon 等研究^[32], 16 万年来,地球接收的能量变化了 0.3%,导致温度变化 0.2°C ,经 CO_2 变化的反馈后,温度变化放大为 0.6°C 。

工业革命以来, CO_2 逐年增加,但气温并非逐年升高:小冰期后的暖期持续到本世纪中叶,之后世界气温又下降了 0.3°C ^[32]。很多学者引证 Jones^[33] 的资料说,1880—1980 年间全球平均增温 0.5°C 是

CO_2 温室效应的结果。但 Jones 本人却认为二者没有本质的联系。因为 CO_2 温室效应是均匀地加热下部大气层,由此导致的增温在时空上应具有同步性,至少一年四季不同季节的增温不应具有显著的差异。

如果说工业革命导致 CO_2 增加、温室效应加强,则工业革命造成的其他一些环境问题也可使地球降温。如气溶胶、尘埃污染的阳伞效应,使大气透明度降低。下垫面的破坏,增大地面反射率等,使地球接收的太阳辐射减少而降温。与此同时, CO_2 温室效应并不能改变地球接收的太阳辐射总量,因此也就不能改变整个地球的平均温度^[34]。温室效应是重新分配能量,即加热下部大气,冷却上部大气,导致高空云量增加。由于云具有屏蔽太阳辐射和吸收红外辐射的两个作用,所以云量增加的气候效应取决于二者之和。具体是导致增温^[35]或降温^[36],不同学者的看法尚不一致。

综上所述,在现阶段将 CO_2 温室效应作为全球气候要素的组成部分,还有很多值得商榷的问题。对于冰期, CO_2 温室效应至多只能是在天文或其他因素基础上起反馈作用,尽管这个作用可能很大,但不是冰期气候波动的基因。另一方面,工业革命后 CO_2 增加,温室效应由于受到种种因素影响并未得到确证。特别是在 CO_2 变化的机制、周期及其温室效应与其他气候因子间的反馈机制等方面,都还有待于进一步研究。

尽管 CO_2 变化机制和温室效应不很确定,很多学者还是用它模拟了未来气候趋势以及可能带来的一系列环境问题。笔者认为,作为科学研究,这些模拟是开拓性的,为后人工作提供了基础和方法论。但若作为气候预测、预报的依据,则为时尚早。而且可以预言,单纯地从 CO_2 温室效应一个因子来预测未来气候变化是理由不充分的。

参 考 文 献

- [1] Hoyle, F., *Ice*, pp: 169—175, Continuum, New York, 1981.
- [2] Oerlemans, J. et al., *Ice Sheets and Climate*, pp: 200—201, D. Reidel, Dordrecht, 1981.
- [3] David Jr., *Climate Processes and Climate Sensitivity*, pp: 1—5, American Geophysical Union, Washington, D. C., 1984.
- [4] 叶笃正,中国科学院院刊, 1(2), 112—120(1986)
- [5] Pearce, F., *New Sci.*, 111(1526), 29(1986).
- [6] Monteith, J. L., *Quart. J. R. Met. Soc.*, 107

- (454), 749—774 (1981).
- [7] Jung, H. J. et al., *Desertification in Europe*, pp: 35—48, D. Reidel, Dordrecht, 1984.
- [8] Frakes, L. A., *Climates Throughout Geologic Time*, pp: 29—96, Elsevier, Amsterdam, 1979.
- [9] Sagan, C. & Mullen, G., *Science*, 177, 52—56(1972).
- [10] Sagan, C., *Nature*, 269, 224—226(1977).
- [11] Owen, T. & Cess, R. D., *Nature*, 277, 640—641(1979).
- [12] Schidlowski, M., 早期的地球(陈庆宣等译), 120—134 页,地质出版社,北京,1987 年.
- [13] Ронов, А. Б., *Геохимия*, 8, 1252—1277(1976).
- [14] Будыко, М. Н., 气候的过去和未来(翁笃鸣等译), 25—56 页, 208—254 页,气象出版社,北京,1986 年.
- [15] Barnola, J. M. et al., *Nature*, 329, 408—414(1987).
- [16] Jouzel, J. et al., *Nature*, 329, 403—408(1987).
- [17] Friedli, H. et al., *Nature*, 324, 237—238 (1986).
- [18] Machta, L., *Changing Climate*, pp: 242—251, National Academy Press, Washington, D. C., 1983.
- [19] 张宝政等,地质学原理,249—257 页,地质出版社,北京,1983 年.
- [20] Arthur, M. A., *Climate in Earth History*, pp: 55—67, National Academy Press, Washington, D. C., 1982.
- [21] Machta, L., 人工影响天气和气候(王昂生等译), 485—513 页,科学出版社,北京,1985 年.
- [22] Worsley, T. R., *Nature*, 230, 318—320(1971).
- [23] 张家诚等,气候变迁及其原因,213—255 页,科学出版社,北京,1976 年.
- [24] Kondratyev, K. Ya., *Climate Shocks*, pp: 10—13, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [25] Tappan, H., *Palaeogeog., Palaeo climatol., Palaeoecol.*, 4, 187—210(1968).
- [26] 中科院上海植物所等,植物生理学通讯,1, 57—58 (1980).
- [27] Lamb, H. H., 气候的变迁和展望,338—347 页,气象出版社,北京,1987 年.
- [28] Woodwell, G. M., *Changing Climate*, pp: 216—241, National Academy Press, Washington, D. C., 1983.
- [29] RaMaNathan, V., *Science*, 240, 293—299 (1988).
- [30] Idso, S. B., *Theor. Appl. Climatol.*, 39, 54—56(1988).
- [31] Genthon, C. et al., *Nature*, 329, 414—419 (1987).
- [32] 杨怀仁,第四纪地质,177 页,高等教育出版社,北京,1987 年.
- [33] Jones, P. D. et al., *Monthly Weather Review*, 110(2), 59—70(1982).
- [34] Bryson, R. A. et al., 饥饿的气候,164 页,科学出版社,北京,1981 年.
- [35] Schlesinger, M. E., *Nature*, 335, 303—304 (1988).
- [36] Roeckner, E., *Nature*, 329, 138—140(1987).

(收稿日期: 1989 年 2 月 12 日)

(Continued from p. 96)

realize effective control and considerable reduction of pollution discharge, but also raise the industrial output and environment-economic benefit. (See pp. 57—62)

Application of Triple Spline Functions to Determination of Dispersion Coefficient in the River

Qin Jianhou, Li Longdi and Deng Bo(Department of Chemistry, Tsinghua University, Beijing)

In order to obtain dispersion coefficient in the Zhengjiakou-Xuanhua section of the Yanghe River, the trace experiment has been done by using rhodamine B. An interpolation method of triple-spline function is described briefly and used to handle the experimental data of dilution and diffusion in the Yanghe River. The dispersion coefficient calculated in accordance with one-dimension diffusion model is $5.53 \text{ m}^2/\text{s}$ and then has verified with two-dimension diffusion model. The result shows

ows that the method mentioned above is correct and reliable. (See pp. 66—71)

CO₂ throughout Geologic Time and Its Greenhouse Effects

Wang Guiyong and Dong Guangrong(Institute of Desert Research, Academia Sinica, Lanzhou)

This paper queries the problem whether global climate warming in the future is due to the increase of carbon dioxide by human activities as it is said prevalently. The authors suggest that in view of CO₂ throughout geologic time, CO₂ component in the atmosphere has decreased from 91% primarily to 0.034% currently since formation of the atmosphere, nevertheless the present fluctuation of CO₂ would be the aggregate results of human activities and natural action both, not of human activities only. So, prediction of global warming based on CO₂ greenhouse effect is not of sufficient evidence according to the authors. (See pp. 79—83)