

国际贸易对碳减排协议的促进作用^{*}

——理论框架及减排意愿的数值一般均衡情景模拟

蔡跃洲¹, John Whalley²

(1. 中国社会科学院 数量经济与技术经济研究所, 北京 100732;

2. 加拿大西安大略大学 经济系, 加拿大 London, N6A5C2)

摘要:全球碳减排谈判是具有外部性特征的多方合作博弈。文章首先构建一个单一商品无贸易多国模型,对各国的碳减排意愿进行刻画,利用相关数据对不同情景下的各国碳减排意愿进行数值一般均衡模拟;在此基础上,将国际贸易因素引入模型,重新对各国的减排意愿进行情景模拟。数值模拟结果表明:(1)经济规模越大,全球变暖持续的时间跨度越长,温度上升带来的效用损失越大,各国单方面减排意愿越强;(2)国际贸易的存在更有利于各国碳减排意愿的提高,因为各国通过减产实现减排的同时,其贸易条件得到改善,从而将减产带来的效用损失部分转嫁到其他国家;(3)当前,假借碳减排之名而抬头的“新贸易保护主义”不仅无法促进各国碳减排,反而将阻碍全球碳减排协议的达成。

关键词:减排意愿;国际贸易;数值均衡模拟

中图分类号:F205;F74 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9952(2010)11-0004-12

一、引言

当前,气候变化问题越来越成为全球各国共同关注的焦点。2009年12月结束的哥本哈根气候大会尽管坚持了《联合国气候变化框架公约》、《京都议定书》和巴厘路线图,但发达国家逃避义务的企图非常明显,并直接导致许多关键问题谈判进展甚微。事实上,欧美发达国家此前一直在推卸自身责任,更假借“碳减排”之名和“碳关税”等手段推行“新贸易保护主义”。

从局部均衡角度看,对高碳产品征收“碳关税”似乎能对各国乃至全球的碳排放起到限制作用。然而,“碳减排”作为一项外部性很强的活动,需要全球各国协商一致,通过具有法律效力的协议才能实现。从一般均衡角度看,“碳关税”的征收必然导致全球贸易自由化的倒退,对各国间正常贸易往来带来负面影响。如果国际贸易有助于各国“碳减排协议”的达成,那么以促进“碳减排”为名的“碳关税”等贸易保护措施,其最终效果很可能适得其反。基于此,

收稿日期:2010-08-27

作者简介:蔡跃洲(1975—),男,江西余江人,中国社会科学院数量经济与技术经济研究所副研究员;

John Whalley(1947—),男,英国兰开夏郡人,加拿大西安大略大学经济系讲座教授。

弄清楚国际贸易对碳减排协议的影响机制有着直接的现实意义。

二、“碳减排”协议的博弈空间

以应对全球气候变化为目标的活动是一个典型的外部性问题。一方面,各国单方面的碳减排行动必然带来本国产出的降低或支出的增加,这些成本都由减排国独自承担;另一方面,碳减排行动有利于抑制全球气候变暖,其好处为全球所共享。为克服这一外部性,需要各国通过谈判达成一项具有约束力的碳减排协议。因此,“碳减排谈判”就成为一场具备外部性特征的合作博弈。

“碳减排谈判”作为一种合作博弈能否最终达成协议,取决于由各国策略共同构成的合作博弈的核(core)^①是否为空集。Scarf(1960)给出了无外部性情况下,合作博弈核为非空的条件。Shapley 和 Shubik(1969)则通过实例说明,在存在外部不经济的条件下,合作博弈的核可能为空集;其“冶炼博弈(smelting game)”就是当前全球“碳减排谈判”的缩影,这意味着全球“碳减排谈判”最终可能无解。较晚些的相关文献,Barrett(1994)、Botteon 和 Carraro(1997)、Chen(1997)、Uzawa(1999)等,大多将“碳减排谈判”看作是具有外部性特征的多主体合作博弈,并尝试为此类合作博弈寻找均衡可行解,为推动碳减排协议达成提供新的思路和方案。

Barrett(1994)试图建立一个自我实施机制来解决各国“碳减排活动”中的搭便车问题。在一系列假设下,Barrett(1994)构造“碳减排活动”的成本函数,据以分析自我实施协议达成的决定因素,并对不同情景下非合作转向全面合作所产生的净收益进行模拟。然而,模拟结果却令人沮丧。根据 Barrett(1994)的计算,自我实施协议可能不会给参与者带来实质性收益,当参与国家很多时更是如此;而要大幅提高净收益,协议就只能维持很少的参与国,这对全球气候变化及福利的改善也非常有限。

Botteon 和 Carraro(1997)则将减排成本和环境损害两部分同时纳入各国福利函数中,对联盟的稳定性进行理论分析。在模型分析基础上,Botteon 和 Carraro(1997)将世界划分为“日本”、“美国及加拿大”、“欧盟”、“俄罗斯东欧”、“中国和印度”五部分,据以进行数值情景模拟。模拟结果表明,当包含三个以上国家时,联盟就不再稳定。该结果与 Barrett(1994)的结果比较吻合。

Shapley 和 Shubik(1969)的讨论没有考虑转移效用或旁支付的因素。Uzawa(1999)证明,如果允许效用转移(或旁支付),博弈各方在外部性内生化过程中都将获益,原先核为空集的情况也将改变。Chen(1997)的模型中,旁支付被看作是协议的重要组成部分。Chen(1997)主张,旁支付的确定是各方讨价还价的结果,与“谁污染谁支付”或“谁受害谁支付”原则无关。

从上述文献可知,在没有旁支付^②情况下,要在全球范围内达成碳减排协议基本是不可能的。小规模主体参与合作谈判的动力通常更弱。这主要是因

为:减排行动需要承担较大成本,而较小的经济规模使其减排行动对气候变化带来的影响很小,从中获得的直接收益自然也很小。对于大国来说,虽然减排行动同样需要大量成本,但是其参与合作谈判的动力相比小国则要大得多。因为大国经济规模庞大,其减排行动对全球气候变化所产生的作用也较为明显,使得大国在减排行动中能够直接受益。

如何才能使更多国家自愿参与碳减排谈判,并达成可行的减排协议?从合作博弈角度看,就是如何附加条件使合作博弈的核变为非空,并尽可能将核扩大。Chen(1997)、Uzawa(1999)等从增加旁支付角度寻求解决途径,具体到谈判实际就是通过转移支付或关税等措施促进协议的达成。本文同样致力于研究如何扩大合作博弈的核,推动碳减排协议在更大范围内达成。与 Chen(1997)、Uzawa(1999)等不同的是,本文并不涉及旁支付及转移效用,而是着重考察国际贸易的出现是否有利于碳减排谈判及协议达成。具体思路是:首先,构建一个“单一商品多国无贸易碳减排理论模型”,以刻画各国碳减排谈判参与机制,并利用世界三大经济体(美国、欧盟和日本)和金砖四国(中国、印度、俄罗斯和巴西)2006 年相关数据,运用数值一般均衡方法模拟各国有意愿参与碳减排谈判对应的临界效用损失比例。为最终考察国际贸易对碳减排意愿的影响,将单一商品拓展为“每个国家生产一种产品”,引入阿明顿贸易模型(Armington trade model)构建新的模型框架并进行相应情景模拟。对比贸易模型与无贸易模型的模拟结果,分析国际贸易的出现对各国参与碳减排谈判的影响,考察引入国际贸易是否有利于碳减排协议在更大范围内达成。

三、单一商品多国无贸易碳减排理论框架及参数校准

(一)单一商品多国无贸易碳减排模型。首先需要以下几个假设条件:(1)假定全球共有 N 个国家,每个国家生产并消费同一种商品,并在一个较长时间段内(比如 30 年或 50 年)保持经济的持续增长;(2)各国的消费(生产)活动将带来二氧化碳排放进而导致全球气候变暖;(3)消费活动为各国带来正效用,而气候变暖则会给各国带来负效用;(4)各国消费以其生产能力为上限,减少消费意味着减少排放,从而有利于减缓气候变暖;(5)假定各国从现在到未来 t 年内经济可能出现两种情形:一是以当前的增长速度持续增长 t 年,不妨称之为“正常增长情形”;二是 t 年中每年都没有任何变化的零增长情形。

在上述假设条件下,我们将以各国经济零增长情形作为参照,重点分析正常增长情形下 t 年内各国累计的消费(产出)变化、效用变化及温度变化情况。为此,效用函数中涉及的自变量、因变量都是 t 年内各自“正常增长情形”与“零增长情形”之差,具体如下:(1)消费(产出)方面,以 ΔR_i 表示每个国家 i 在 t 年内正常增长情形与零增长情形相比的“消费变化”; (2)各国“产出能力变化”和“全球总产出变化”分别由 $\Delta \bar{R}_i$ 和 ΔR 表示,并满足 $\Delta R_i \leq \Delta \bar{R}_i$ 和 $\Delta R =$

$\sum \Delta R_i$; (3) 气温方面, 以 ΔT 表示 t 年内全球平均温度变化, ΔT 与 ΔR 成正比, 假定零增长情形下 ΔT 为零; (4) 效用方面, 以 ΔU_i 表示各国“效用变化”, ΔU_i 与 ΔR_i 成正比、与 ΔT 成反比。另外, 后续部分如无特殊说明, 将 ΔR_i 、 ΔU_i 、 ΔR 等分别简称为消费、效用和总产出。

不失一般性, 我们假定各国的效用函数呈柯布一道格拉斯函数形式:

$$\Delta U_i = \Delta U_i(\Delta R_i, \Delta T) = \Delta R_i^\alpha \times [(C - \Delta T)/C]^\beta \quad (1)$$

其中: C 可以看作是温度变化 ΔT 的一个上限值(比如说 10°C), 当 ΔT 达到该上限值时, 所有经济活动都将停止。这意味着, 当 ΔT 接近 C 时, 各国的效用 ΔU_i 接近零; 当 ΔT 接近零时, 它对效用 ΔU_i 几乎不产生影响。 α 、 β 参数则反映消费、温度变化对效用的影响程度, 参数值将利用有关数据校准而得。

温度变化 ΔT 取决于 t 年内各国碳排放情况, 而碳排放又与各国的消费成正比。于是, 可以进一步设定 ΔT 的数学表达式为:

$$\Delta T = g(\sum e_i \Delta R_i) = a(\sum e_i \Delta R_i)^b + c \quad (2)$$

其中: e_i 为各国排放强度, 即单位 GDP 的碳排放量。在上述模型中, 某国单方面的碳减排行为意味着本国消费的减少, 而消费减少将对效用带来正反两方面的影响: 一方面, 根据式(1), 效用本身就是消费的函数, 与其成正比; 另一方面, 根据式(2), 温度变化也与消费成正比, 而温度变化又与效用呈反比。如果某国单方面减排行为对温度变化影响带来的正效用大于对消费影响带来的负效用, 那么它就有激励和意愿进行减排。如果各国能够通过谈判就共同进行碳减排达成协议, 那么所有国家的境况都可能变好。因为各国共同减排对温度变化带来的影响将非常明显, 各国由此获得的正效用肯定要比单方面减排情形大得多。然而, 减排合作在缺乏适当激励或惩罚机制时通常会搭便车的出现。要确保碳减排合作的自我实施, 充分条件就是各国“边际减排效用”为非负, 或者说“边际消费效用”为非正:

$$\frac{d\Delta U_i}{d\Delta R_i} = \frac{\partial \Delta U_i(\Delta R_i, \Delta T)}{\partial \Delta R_i} + \frac{\partial \Delta U_i(\Delta R_i, \Delta T)}{\partial \Delta T} \times \frac{\partial \Delta T}{\partial \Delta R_i} \leq 0 \quad (3)$$

如果 $d\Delta U_i/d\Delta R_i$ 为非正, 则各国将自愿参与碳减排行动, 在柯布一道格拉斯函数情况下, 公式(3)就可变换为公式(4):

$$\frac{d\Delta U_i}{d\Delta R_i} = \alpha \left(\frac{C - \Delta T}{C} \right)^\beta \Delta R_i^{\alpha-1} - \frac{\beta}{C} \Delta R_i^\alpha \left(\frac{C - \Delta T}{C} \right)^{\beta-1} a b e_i (\sum e_i \Delta R_i)^{b-1} \leq 0 \quad (4)$$

(二) 相关数据及参数校准。对式(1)至式(4)涉及的各个参数进行校准。将全球划分为美国、欧盟、日本、中国、印度、俄罗斯、巴西和世界其他八个经济体, 假定在 2006—2056 年这 50 年间, 各国都将处于“正常增长情形”状态; 以 2000—2006 年各国 GDP 平均增速作为这 50 年间的“正常增长速度”, 并假定 50 年间平均年折现率为 1.5%, 据此计算各国 2006—2056 年间 ΔR_i (即累计的 GDP 变化) 的现值。参考 Stern(2006)、Mendelsohn(2007) 等文献提供的

数据资料,并考虑各国各种可能的偏好情形,便可以将式(1)、式(2)中的相关参数校准出来。利用校准所得参数,可以就不同经济体单方面减少 1% 消费(产出)产生的福利影响进行模拟计算,近似计算出各国的边际消费效用;根据边际消费效用的正负可以判断各经济体是否具有参与全球减排谈判的激励和意愿,进而判断碳减排协议是否可能在多个国家(或经济体)间达成。利用各经济体 2006 年的 GDP 数据、2000—2006 年的平均增速、2004 年排放强度,以及 Stern(2006)、Mendelsohn(2007)等对全球温度上升的估计,可以对“正常增长情形”下式(2)的参数 a、b、c 进行校准;根据对“正常增长情形”下碳排放增加可能带来的福利(效用)损失的估计,可以校准出相应的 β 值和 α 值。受数据收集方面的限制,我们只找到 2004 年比较完整的各国碳排放数据,据以计算相应的碳排放强度。假定短期内各国碳排放强度基本不变,便可将其作为模型基期 2006 年的排放强度。在全球温度变化方面,Stern(2006)预测:沿着“正常增长情形”路径,到 2036 年全球平均温度将上升大约 2℃,到 2056 年将上升约 5℃,^③我们将以此作为不同时间段 ΔT 的取值依据。相关数据整理见表 1。

表 1 GDP、碳排放数据及 2036 年和 2056 年预测数据

(单位:万亿美元;10 亿吨;吨/美元;%)

国 别	美国	欧盟	日本	中国	印度	俄罗斯	巴西	其他	全球
GDP (2004 年)	11.712	13.044	4.068	2.254	0.667	0.592	0.664	8.048	41.590
排放 (2004 年)	6.050	3.841	1.258	5.009	1.343	1.525	0.332	7.880	27.241
排放强度 (2004 年)	0.517	0.294	0.273	2.222	2.012	2.577	0.500	0.979	0.655
GDP (2006 年)	13.164	10.636	4.368	2.645	0.912	0.987	1.067	14.682	
排放 (2006 年)	6.800	3.132	1.193	5.877	1.835	2.544	0.534	14.376	36.289
GDP 增长率 扣除 1.5% 折 现率后的	2.657	1.956	1.652	9.568	6.833	6.745	3.104	3.662	
GDP 增长率	1.117	0.426	0.127	7.924	5.230	5.144	1.557	2.107	
GDP (2056 年)	22.943	13.158	4.656	119.763	11.666	12.120	2.311	41.641	228.258
排放 (2056 年)	11.851	3.874	1.271	266.140	23.474	31.238	1.156	40.771	379.774
GDP (2006—2036 年)	471.310	341.074	133.673	318.879	66.327	70.673	41.055	618.453	
排放净增加 (2006—2036 年)	39.460	6.473	0.715	532.308	78.416	105.538	4.515	174.270	941.996
GDP (2006—2056 年)	885.060	593.877	225.669	1 595.092	216.377	227.567	81.131	1 306.574	
排放净增加 (2006—2056 年)	117.183	18.273	1.978	3 250.796	343.635	459.330	13.879	560.511	4 765.585

注:(1)GDP 数据来自 World Development Indicators 数据库;(2)2004 年排放数据来自维基百科 List of countries by carbon dioxide emissions;(3)其他为推算数据,其中第 11 行和第 13 行的排放净增加指“正常增长情形”与“零增长情形”相比的排放变化。

表 1 第 3 行各经济体的碳排放强度 e_i 由 2004 年的 GDP 和碳排放数据计算

而得。2006 年的碳排放则由当年的 GDP 与碳排放强度 e_i 相乘而得。第 6 行中采用 2000—2006 年各经济体的平均增速作为其 2006—2056 年间“正常增长情形”下的实际年增长率;第 7 行则是在第 6 行基础上扣减 1.5%折现率后各经济体的增长率;第 8 行则是根据 2006 年 GDP 和第 7 行增长率对 2056 年各经济体 GDP(现值)所作的推测;第 9 行是在碳排放强度不变情形下,根据第 8 行和第 3 行数据推测出的 2056 年碳排放;第 10 行至第 13 行是 2006—2036 年、2006—2056 年这两个时间段的累计 GDP 和累计碳排放净增加。利用表 1 计算出的 2006 年、2006—2036 年、2006—2056 年碳排放净增加数据及其对应的温度变化 0℃、2℃、5℃便可以対式(2)中参数 a、b、c 的具体值进行校准:

$$0=a(36.289-36.289)^b+c \tag{5}$$

$$2=a(941.996)^b+c \tag{6}$$

$$5=a(4765.585)^b+c \tag{7}$$

求解上述联立方程得 a、b、c 的值分别为 0.0417、0.5652 和 0 并代入式(2):

$$\Delta T=g(\sum e_i \Delta R_i)=0.0417(\sum e_i \Delta R_i)^{0.5652} \tag{8}$$

接下来校准效用函数中的偏好参数 α 和 β 。为保证柯布一道格拉斯函数的线性齐次性,设定 α 、 β 之和为 1。Stern(2006)、Mendelsohn(2007)以及其他相关文献对“正常增长情形”下全球气候变暖将带来多少比例的 GDP 损失进行过估算。不妨将 GDP 损失看作是同等比例的效用损失,并据此来对参数进行校准。根据这些文献,“正常增长情形下”损失最低为 GDP 的 5%,最高则接近 GDP 的一半,不妨假设为 49.5%。^④ 针对不同的损失情景,可以分别校准出对应的偏好参数值。根据 Stern(2006)的做法,式(1)中 ΔT 为 5℃,而 C 则假定为 10℃。参数校准结果见表 2。

表 2 不同损失情景下效用偏好参数校准结果

效用损失(%)	α	β	效用损失(%)	α	β
5	0.9260	0.0740	45	0.1375	0.8625
10	0.8480	0.1520	46	0.1110	0.8890
20	0.6781	0.3219	47	0.0841	0.9159
30	0.4854	0.5146	48	0.0566	0.9434
35	0.3785	0.6215	49	0.0286	0.9714
37.5	0.3219	0.6781	49.5	0.0144	0.9856
40	0.2630	0.7370			

四、单一商品多国无贸易情形下碳减排谈判的模拟

这里利用单一商品模型和校准所得参数进行设定情景模拟。首先模拟各经济体分别减少 1%消费的情景,然后再模拟某几个经济体组成子联盟同时减少消费的情景。模型的时间跨度是 2006—2056 年,每种情景都要考察消费减少对各经济体福利(效用)的影响。如果福利产生正的变化,则表明消费减少引发全球气温变化而产生的正效用大于经济体自身消费减少带来的负效

用。此时,经济体将有意愿自动减排并加入碳减排协议。

考虑到“正常增长情形”下全球气温上升带来损失的范围跨度可能很大,我们仍按照前面参数校准的模式,在损失 5%至 49.5%范围内模拟 13 种情景,每种情景使用的偏好参数与前面校准相对应,模拟结果见表 3。

表 3 不同效用损失程度下各经济体减少 1%消费引起的效用变化(2006—2056 年)

损失比例	美国	欧盟	日本	中国	印度	俄罗斯	巴西	其他
5%	-5.2138	-3.8625	-1.7368	-7.9374	-1.2979	-1.3590	-0.5584	-7.1531
10%	-2.9634	-2.4374	-1.3090	-3.7493	-0.7514	-0.7831	-0.3742	-3.7606
20%	-0.8376	-0.8660	-0.6849	-0.6795	-0.2206	-0.2273	-0.1516	-0.8928
30%	-0.1837	-0.2469	-0.3032	-0.0759	-0.0501	-0.0508	-0.0501	-0.1583
35%	-0.0740	-0.1155	-0.1811	-0.0158	-0.0204	-0.0204	-0.0255	-0.0558
37.5%	-0.0443	-0.0749	-0.1337	-0.0044	-0.0123	-0.0121	-0.0173	-0.0308
40%	-0.0250	-0.0461	-0.0944	0.0009	-0.0069	-0.0067	-0.0111	-0.0158
45%	-0.0058	-0.0132	-0.0361	0.0032	-0.0015	-0.0013	-0.0035	-0.0025
46%	-0.0039	-0.0093	-0.0273	0.0031	-0.0009	-0.0008	-0.0025	-0.0013
47%	-0.0024	-0.0062	-0.0193	0.0029	-0.0005	-0.0004	-0.0017	-0.0005
48%	-0.0012	-0.0036	-0.0121	0.0026	-0.0002	-0.0001	-0.0010	0.0001
49%	-0.0004	-0.0015	-0.0057	0.0024	0.0001	0.0002	-0.0004	0.0005
49.5%	0.0000	-0.0007	-0.0027	0.0022	0.0002	0.0003	-0.0002	0.0006

注:效用变化指 ΔU_i 变化,即减少 1%消费 ΔR_i 后 ΔU_i 相对“正常增长情形”的变化。

由表 3 可见:当全球气温上升 5℃带来的各经济体效用损失为 35%时,没有经济体有意愿进行碳减排;当损失上升到 40%,中国将有减排意愿;损失超过 40%,将有更多的经济体有意愿减排,从而有望达成碳减排协议。对于给定效用损失比例,规模越大的经济体进行碳减排的激励越大、意愿越强。

表 3 中是各经济体分别减少 1%消费的情景模拟结果。如果部分经济体就减排事宜事先组成子联盟(sub-coalition),那么联盟作为一个整体其参与全球碳减排协议的意愿将有很大提高。分别将“美国—欧盟—日本”、“金砖四国”、“亚洲三国”(中国—印度—日本)作为三个不同的子联盟情景,按照上述过程模拟各联盟减少 1%消费 ΔR_i 带来的效用 ΔU_i 的变化,结果见表 4。

表 4 不同效用损失程度下各子联盟减少 1%消费引起的效用变化(2006—2056 年)

损失比例(%)	美国—欧盟—日本	金砖四国	亚洲三国(中印日)
5	-16.8341	-11.5091	-10.0273
10	-7.4474	-5.2263	-5.5136
20	-1.1629	-0.8560	-1.4496
30	-0.1062	-0.0782	-0.2927
35	-0.0179	-0.0108	-0.1126
37.5	-0.0033	0.0003	-0.0657
40	0.0028	0.0046	-0.0362
45	0.0043	0.0050	-0.0079
46	0.0040	0.0045	-0.0052
47	0.0036	0.0041	-0.0031
48	0.0032	0.0036	-0.0016
49	0.0028	0.0032	-0.0004
49.5	0.0026	0.0030	0.0000

对比表 3、表 4,组成子联盟后,当效用损失达到 37.5%,子联盟之一的金

砖四国便有意愿参与碳减排,损失达 40%时已有两个子联盟有减排意愿。

我们进一步模拟了不同时间跨度下各经济体的碳减排意愿。在温度变化方程参数校准中假定 2006—2036 年间“正常增长情形”将导致 2℃ 的上升,据此可以模拟这段时期各国减少 1%消费带来的效用变化,结果见表 5。

表 5 不同效用损失程度下各经济体减少 1%消费引起的效用变化(2006—2036 年)

损失比例	美国	欧盟	日本	中国	印度	俄罗斯	巴西	其他
5%	-4.8184	-3.3113	-3.4216	-2.2192	-0.5548	-0.4001	-0.4136	-5.5742
10%	-3.1026	-2.3718	-2.9208	-1.2930	-0.3751	-0.2692	-0.3145	-3.3472
20%	-1.1514	-1.1106	-2.0208	-0.3836	-0.1547	-0.1097	-0.1677	-1.0652
30%	-0.3446	-0.4333	-1.2452	-0.0872	-0.0521	-0.0363	-0.0758	-0.2664
35%	-0.1654	-0.2412	-0.8998	-0.0351	-0.0267	-0.0184	-0.0458	-0.1151
37.5%	-0.1087	-0.1716	-0.7365	-0.0207	-0.0181	-0.0124	-0.0340	-0.0713
40%	-0.0678	-0.1164	-0.5791	-0.0113	-0.0117	-0.0079	-0.0242	-0.0416
45%	-0.0197	-0.0409	-0.2805	-0.0019	-0.0036	-0.0023	-0.0093	-0.0100
46%	-0.0140	-0.0303	-0.2230	-0.0009	-0.0026	-0.0016	-0.0071	-0.0066
47%	-0.0092	-0.0210	-0.1664	-0.0002	-0.0017	-0.0010	-0.0050	-0.0039
48%	-0.0053	-0.0129	-0.1103	0.0003	-0.0009	-0.0005	-0.0031	-0.0018
49%	-0.0021	-0.0059	-0.0549	0.0007	-0.0003	-0.0001	-0.0015	-0.0002
49.5%	-0.0008	-0.0027	-0.0274	0.0009	0.0000	0.0001	-0.0007	0.0005

对比表 3、表 5 可见,当时间跨度拉长后,各国的碳减排意愿都有所增强。当时间跨度为 2006—2036 年时,效用损失必须达到 48%才有经济体(中国)有意愿进行碳减排,远高于 2006—2056 年时间跨度下 40%的临界损失率。

五、加入国际贸易因素后的碳减排模型和情景模拟

(一)加入国际贸易后的碳减排模型。为此对整个模型结构作出如下假定:(1)全球有 N 个国家;(2)将原先的全球“单一商品”假设扩展为“每个国家都生产一种商品、每种商品各不相同”形成“N 个国家、N 种商品”的格局;(3)每个国家除了消费本国商品外,还需要消费其他国家生产的商品,这样就产生了国际贸易;(4)各国消费的将是由本国商品和外国商品组成的合成商品(composite goods)。为此引入阿明顿(Armington)商品结构,以嵌套不变替代弹性偏好(two stages nested CES preferences)模型进行消费品的合成;(5)各国效用 ΔU_i 仍然由消费 ΔR_i 和全球温度变化 ΔT 决定, ΔR_i 越大、 ΔT 越小,相应的效用会越大。引入国际贸易后的模型将划分为效用函数、消费品合成、进口品合成三个层次,并受全球贸易平衡条件的约束。

1. 效用函数与温度变化函数。作为整个模型结构第一层的效用函数及温度变化函数,具体的函数形式与前面单一商品模型框架下基本相同。

$$\Delta U_i = \Delta U_i(\Delta RC_i, \Delta T) = \Delta RC_i^\alpha \times [(C - \Delta T)/C]^\beta \tag{9}$$

$$\Delta T = g(\sum e_i \Delta RS_i) = a(\sum e_i \Delta RS_i)^b + c \tag{10}$$

式(9)中的 ΔRC_i 所代表的“消费”是各国的合成商品消费,而 ΔRS_i 指的则是各国商品的“产出”或“供给”。

2. 各国消费品合成函数。模型结构第二层是各国消费品 ΔRC_i 的合成。具体采用包含本国生产商品和进口商品的 CES 函数,其结构借鉴了 Whalley (1985)嵌套 CES 阿明顿模型(nested CES Armington model)。该模型是一个纯贸易经济模型,在满足贸易平衡前提下寻求合成商品(消费)最大化:

$$\text{Max } \Delta RC_i = (\alpha_i^d \Delta D_i^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \alpha_i^m \Delta M_i^{\frac{\sigma-1}{\sigma}})^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (11)$$

$$\text{s.t. } p_i^d \Delta D_i + p_i^m \Delta M_i = \text{Inc}_i \quad (12)$$

$$\text{Inc}_i = p_i \Delta RS_i \quad (13)$$

其中: ΔD_i 和 ΔM_i 分别代表第 i 国消费的本国商品和合成进口商品, p_i^d 、 p_i^m 分别为二者的价格, p_i 、 Inc_i 分别为第 i 国商品的销售价格和销售收入。

3. 进口商品合成函数。模型结构第三层则是各国进口商品 ΔM_i 的合成。对于每个国家来说,它可以销售的商品只有一种,而消费的商品有 $N-1$ 种需要进口,进口品也可以通过 CES 函数形式和相应的约束条件进行合成:

$$\text{Max } \Delta M_i = \left[\sum_{i \neq j} (\gamma_i^j)^{\frac{1}{\theta}} (\Delta RM_i^j)^{\frac{\theta-1}{\theta}} \right]^{\frac{\theta}{\theta-1}} \quad (14)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i \neq j} p_j \Delta RM_i^j = p_i^m \Delta M_i \quad (15)$$

其中: ΔRM_i^j 为第 i 个国家进口的第 j 种商品, p_j 表示该进口商品的价格, p_i^m 是第 i 个国家消费合成进口商品 ΔM_i 的价格。经代数变换可得:

$$\Delta RM_i^j = \gamma_i^j p_i^m \Delta M_i / p_j^{\theta} \left(\sum_{i \neq j} \gamma_i^j p_i^{1-\theta} \right) \quad (16)$$

$$p_i^m = \left[\sum_{i \neq j} (\gamma_i^j)^{\frac{1}{\theta}} p_i^{1-\theta} \right]^{\frac{1}{1-\theta}} \quad (17)$$

4. 贸易平衡条件。新的模型引入国际贸易因素后还应该确保全球贸易平衡。每个国家的产出与其销售(包括本国消费和出口)应该相等:

$$\sum_{i \neq j} \Delta RM_i^j + \Delta D_i = \Delta RS_i \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (18)$$

由于国际贸易因素的引入,各国为减少碳排放而降低产出后带来的不仅是 ΔRS_i 的减少,各种商品对应的均衡价格 p_i 也会发生变化。随着产出 ΔRS_i 的减少,第 i 国商品的贸易条件将得到改善, p_i 将得到提高。这意味着,加入国际贸易因素后,各国自主碳减排行为所产生的损失将会由贸易均衡机制分摊到其他国家,减排国自身承担的损失将减少,其减排意愿也将相应提高。

(二)引入国际贸易因素后各国碳减排意愿的模拟分析。在包含国际贸易因素的碳减排模型中,各国合成消费 ΔRC_i 同样也将随着本国产出 ΔRS_i 的变化而变化。与无贸易单一商品情形类似,可以估算 ΔRS_i 变化对效用 ΔU_i 带来的影响。一方面,各国产出 ΔRS_i 变化将通过贸易均衡引起 ΔRC_i 的变化,进而对效用 ΔU_i 产生直接影响;另一方面,各国产出 ΔRS_i 的变化对全球气温也会产生影响,进而引起效用 ΔU_i 的变化。

为了对两种情形下各国的碳减排决策行为进行对比,仍然利用前述 GDP

和排放数据对国际贸易情形下的模型参数进行校准。当然,还需要增加贸易方面的数据,以便对各国的嵌套 CES 偏好参数进行校准;同时,还必须假定在 2006—2056 年间各国间的贸易比例结构保持不变。各国产出 ΔRS_i 发生变动,将形成新的均衡价格、均衡贸易以及效用值 ΔU_i 。这样,也可以按照前面单一商品的模式,测算不同效用损失情景下,减少 1% 产出 ΔRS_i 对效用 ΔU_i 带来的影响,据此分析在加入国际贸易因素后各国的碳减排意愿。^⑤ 贸易情形下不同效用损失情景的减排意愿模拟结果见表 6。

表 6 贸易条件下不同效用损失程度下各经济体减少 1% 产出引起的效用变化 (2006—2056 年)

损失比例	美国	欧盟	日本	中国	印度	俄罗斯	巴西	其他
5%	-0.2345	-0.3292	-0.1917	-0.6179	-0.0740	-0.2377	-0.0825	-0.7354
10%	0.0279	-0.0834	-0.0797	0.0488	-0.0004	-0.0974	-0.0375	-0.1759
20%	0.1174	0.0755	0.0387	0.2017	0.0304	0.0003	0.0019	0.0837
30%	0.0576	0.0602	0.0629	0.0791	0.0167	0.0093	0.0079	0.0477
35%	0.0315	0.0394	0.0544	0.0397	0.0096	0.0065	0.0063	0.0258
37.5%	0.0218	0.0297	0.0472	0.0268	0.0069	0.0050	0.0052	0.0177
40%	0.0143	0.0211	0.0386	0.0175	0.0047	0.0036	0.0040	0.0115
45%	0.0046	0.0079	0.0194	0.0067	0.0017	0.0015	0.0017	0.0040
46%	0.0034	0.0059	0.0155	0.0054	0.0013	0.0012	0.0013	0.0031
47%	0.0024	0.0042	0.0115	0.0043	0.0010	0.0009	0.0010	0.0023
48%	0.0015	0.0026	0.0076	0.0034	0.0007	0.0007	0.0006	0.0017
49%	0.0008	0.0013	0.0038	0.0027	0.0005	0.0005	0.0003	0.0012
49.5%	0.0005	0.0007	0.0019	0.0024	0.0004	0.0004	0.0002	0.0010

对比表 6 和表 3 可见,引入国际贸易因素后,各国单方面减排行为所获得的边际效用将大大提高。贸易情形下,当效用损失比例仅为 10% 时,美国和中国就有减排意愿;而无贸易情形下,效用损失比例达到 37.5% 时,中国才有减排意愿。这说明,引入国际贸易因素能够大大增强各国碳减排意愿,促使全球碳减排协议的达成。其背后的经济学直觉就是,各国降低产出而实现的碳减排将导致本国商品对全球供给的减少,从而提高该商品出口价格、改善本国贸易条件,最终将自身减排带来的损失通过价格机制分摊到其他各国。

六、结论与建议

本文将全球碳减排谈判看作一种具有很强外部性的多方合作博弈。作为博弈主体的世界各国能否最终达成碳减排协议取决于各国在碳减排活动中能否获得足够的收益或激励。为了对各国的碳减排意愿进行分析,我们首先构造一个单一商品多国模型对上述机制进行刻画,利用现有数据资料校准模型参数,并对不同气候变化影响情景下各国碳减排意愿进行模拟分析。通过引入国际贸易因素构建新的模型,并进行相应的参数校准和情景模拟分析。模拟结果表明:第一,经济规模越大的国家(或经济体)参与碳减排的意愿越强烈。因为给定减产(减排)比例,规模越大的经济体对全球温度变化产生的影

响越大。与之类似,气候变化持续的时间跨度越长,各国参与碳减排的意愿也会越强。第二,加入国际贸易因素后,各国进行碳减排的意愿普遍增强,全球碳减排协议也更容易达成。因为国际贸易条件下,各国降低产出后面临的国际贸易条件将得到改善,产出及消费减少带来的效用损失也将因此得到部分补偿。这样就相当于将减排(减产)带来的损失通过国际贸易分摊到其他各国。第三,当前欧美发达国家以全球气候变暖为借口,碳关税等形式的新贸易保护主义抬头,这种做法不仅不能有效降低各国碳排放,反而会减弱国际贸易在增强各国减排意愿方面的作用,最终阻碍全球碳减排协议的达成。

* 本文受中国社会科学院经济政策与模拟重点研究室和科技部创新工作专项项目(2009IMD20400)资助。

注释:

- ①即部分博弈主体达成的一种联盟(coalition),该联盟内部的所有成员都无法提升自身效用,而该联盟也是合作博弈的稳定均衡解。
- ②气候变化谈判中,发达国家给予发展中国家的资金技术支持是旁支付的重要形式。
- ③根据 Stern(2006)预测,如果沿着“正常增长情形”路径发展,到 2035 年就可能达到 550ppm 二氧化碳当量的水平,意味着有 77%—99% 的可能导致全球平均温度升高超过 2℃;如果在 2050 年前后达到 750ppm 二氧化碳当量的水平,温度将上升 5℃左右。
- ④设定 49.5% 是出于计算考虑。式(1)的 C 设定为 10℃, ΔT 为 5℃,因此 50% 是临界点。如果损失达到 50% 且 α 为 0、 β 为 1,效用函数将不再是柯布—道格拉斯函数。
- ⑤准确地比较贸易和无贸易两种情形下的差异很困难。一方面,无贸易条件下各国消费的就是本国产出,加入国际贸易后各国的需求变为以嵌套 CES 函数形式合成的商品,其产出则进入合成商品的预算约束条件。同样的产出变化在两种情形下带来的消费变化并不同。另一方面,两种情形外生条件是不同的。在无贸易情形,全球总消费(或产出)为外生,各国的消费变动也可以外生设定;而在贸易情形,可以外生设定各国的产出及其变动,各国的消费则需要由商品价格、预算约束及贸易平衡等因素内生决定。当然,将两种情形下的各国产出 ΔRS_i 设定不变,仍然可以得出较为准确的对比结果。

参考文献:

- [1] Botteon, Michele, Carlo Carraro. Burden-sharing and coalition stability in environmental negotiations with asymmetric countries[A]. Carraro. International environmental negotiations: Strategic policy issues[C]. Cheltenham, Edward Elgar, 1997.
- [2] Cai Yuezhou, Raymond Riezman, John Whalley. International trade and the negotiability of global climate change agreement[R]. NBER Working paper No. 14711, 2009.
- [3] Chen Zhiqi. Negotiation an agreement on global warming: A theoretical analysis[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1997, 32: 170—188.
- [4] Mendelsohn, Robert O. A critique of the stern report[R]. Regulation, (Winter 2006—2007), 2006: 42—46.
- [5] Stern, Nicholas. Stern review on the economics of climate change[M]. London: Her Maj-

esty's Treasury, 2006.

- [6] Uzawa H. Global warming as a cooperative game[J]. Environmental Economics and Policy Studies, 1999(2): 1—37.
- [7] Uzawa H. Economic theory and global warming[M]. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [8] Walsh S, J Whalley. Bringing the copenhagen global climate change negotiations to conclusion[R]. CESifo Working Paper No. 2458, 2008.

Positive Effects of International Trade on Global Carbon Reduction Agreements: Theoretical Framework and Numerical General Equilibrium Simulation on Reduction Incentives

CAI Yue-zhou¹, John Whalley²

(1. *Institute of Quantitative & Technical Economics, Chinese Academy of
Social Sciences, Beijing 100732, China*; 2. *Department of Economics,
University of Western Ontario, London N6A5C2, Canada*)

Abstract: The global carbon reduction negotiation is a cooperative game with externality. The paper establishes a single-good non-trade multi-country model framework to depict the carbon reduction incentives. Then based on available data and literatures, it simulates reduction incentives of each country in different scenarios by using numerical general equilibrium simulation technique. It further introduces the factor of international trade into the model, and makes the corresponding reduction incentives simulations as well. The simulation results are as follows: firstly, the larger economic scale is, the longer warming period lasts, the bigger utility loss from warming is and the stronger the reduction incentives of each country are; secondly, the presence of international trade would enhance the reduction incentives of each country and make the carbon reduction agreements more likely because the output reduction has a positive term of trade effect which decreases the cost of output reduction; thirdly, the revival of new protectionism in name of carbon reduction would not promote carbon reduction, but instead prevent each country from coming to reduction agreements.

Key words: reduction incentive; international trade; numerical equilibrium simulation

(责任编辑 许 柏)