

气候变化对区域经济影响的投入-产出模型研究*

张永勤

缪启龙

(南京大学城市与资源学系, 南京, 210093)

(南京气象学院环境科学系, 南京, 210044)

摘 要

利用经济学“投入-产出”分析方法的基本原理,结合气候变化对工业影响的统计模型、对农业产量影响的计算机模拟系统,建立了气候变化对区域经济影响的投入-产出模型。研究了当气候变化对工业、农业部门的生产和产品发生影响时,导致的对国民经济其他部门的拉动需求和各个部门间的投入-产出流量的变化,从而预测各个部门的国内生产总值和总产出量,对 2010、2020 年的经济发展。综合分析气候变化对各部门的影响,找出适应区域经济平衡发展的适应对策,为决策者提供一些参考建议。

关键词: 气候变化,投入-产出,工业产值,农业产值,总产出。

1 引 言

气候变化对全世界的社会、经济及自然体系具有深远的影响。目前,科学界和各国政府对气候变化的可能影响愈来愈重视。这不仅是气象领域的学术问题,而且已影响到了社会各个层次的经济和决策问题。气候变化对区域环境经济的影响也受到普遍重视。国外运用投入-产出模型在五大湖地区进行气候变化对区域的影响评价,取得了很好的效果^[1,2]。中国自 20 世纪 90 年代开始开展了一些关于气候变化对区域环境经济的研究,先后得出了一些定量和定性的结论^[3~7],而关于气候变化对区域经济的影响分析多处于定性的评价。

文中以江苏省为例,建立了一个气候变化对中国区域经济影响的投入-产出模型,从而就气候变化对经济可持续发展的影响提供一些基本政策建议。同时该模型对其它区域的气候变化影响研究也提供了有益的借鉴和参考作用。

2 气候变化情景的确定及资料处理

本文选取江苏省作为研究区。江苏省属亚热带和暖温带季风气候,光能资源较充足。降水充沛,但季节分布不均且地区差异明显,旱涝灾害频繁,受气候变化的影响十分敏感。

* 初稿时间:2000 年 2 月 29 日;修改稿时间:2000 年 10 月 18 日。

资助课题:国家环保总局科技发展项目(A--95301),加拿大 GPIP,香港基金委员会项目(RGC Grant 97/98 Code:338/005/0007)。

它又是中国经济发展的大省,以它作为研究区很有典型性。

气候变化情景的确立参考大气环流模式对中国行地区在 CO_2 倍增时各地可能的气候变化预测结果^[13],考虑到气候预测的不确定性,对江苏地区未来可能的气候变化确定 5 种可能的温度变化情景,即:增温为 0.5°C , 1.0°C , 1.5°C , 2.0°C , 2.5°C 。并考虑降水变化 $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ 时的情景。

参考江苏省国民经济 119 部门的核算资料编制投入-产出表。其他各类社会经济资料分别来源于江苏省各统计部门经济信息中心及各类参考文献和社会调查,气象资料由江苏省气象局提供资料准确、可信。

3 气候变化影响的投入-产出模型

3.1 投入-产出模型

投入-产出分析 (IOA) 的最大优点是提供了十分清楚的供求关系,从而把各部门及各区域用这种投入-产出关系联系起来^[1,2]。投入-产出模型结构能够反映各部门间的相互作用,它能明确地描述各个经济部门间的供给和需求的性质以及各地区之间、经济部门间的相互关系,识别与气候变暖有关的各种影响的区域分布。这一方法也广泛地被用来进行区域气候变化影响评价 (Parry 等, 1987; Malone 和 Yohe, 1992; Cohen, 1993)。

根据投入-产出表反映的平衡关系,建立数学方程^[8,9]。根据各部门总产品计划指标,预测计划期各部门的最终产品量的方程组为

$$Y_i = X_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \quad (1)$$

多部门时用矩阵计算

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 X_n 为第 n 部门的总产出量, Y_n 为第 n 部门的最终产品 (所有生产部门最终产品之和 $\sum_{i=1}^n Y_i$ 为社会总产值或国民生产总值), 即第 n 部门提供给社会用来消费、投资和净的货物流出量。 a_{ij} 为直接消耗系数

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (3)$$

直接消耗系数表示生产每单位 j 部门产品消耗 i 部门产品的数量。它反映了在一定的技术水平和生产经营组织条件下,国民经济各部门之间的直接技术经济联系,当系数为零时,说明两个部门之间没有直联系;系数越大,表明部门间联系越紧密。

预测总产量的产出方程组为

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

b_{ij} 代表完全消耗系数,投入产出表上表现为: j 部门生产每单位最终产品,对 i 部门产品的完全消耗量,其中包括对 i 部门产品的直接消费量和通过中间产品产生的对 i 部门产品的间接消耗量。它的数学公式为

$$b_{ij} = a_{ij} + \sum_{k=1}^n a_{ik}a_{kj} + \sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n a_{is}a_{sk}a_{kj} + \sum_{t=1}^n \sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n a_{it}a_{ts}a_{sk}a_{kj} + \dots$$

$$(i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

a_{ij} 表示第 j 部门对第 i 部门的直接消耗; $a_{ik}a_{kj}$ 表示第 j 部门通过第 k 部门对第 i 部门的一次间接消耗; $\sum_{k=1}^n a_{ik}a_{kj}$ 是一切一次间接消耗总和; $a_{is}a_{sk}a_{kj}$ 表示第 j 部门通过第 k 部门、第 s 部门对第 i 部门的二次间接消耗; $\sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n a_{is}a_{sk}a_{kj}$ 是一切二次间接消耗的总和;依此类推。

式(1)中 X_i, X_j 如农业、工业、能源、水产业、林业等可能因气候变化而受到影响。把气候变化对 X_i, X_j 的影响模型嵌入到式(1)中,得到气候变化对经济影响的投入-产出模型。根据投入-产出模型计算出气候变化时未来的经济状况,与不考虑气候变化时的结果相比较,便得出气候变化对经济的影响。

文中主要考虑气候变化对工业、农业部门的影响程度,研究气候变化对区域经济系统各部门产出量和部门间产品消耗量的影响及相互关系,较为全面的研究气候变化对区域经济的影响,以便寻找当气候变化时政府部门应采取的相应经济对策。

3.2 气候变化对工业部门的影响模型

根据统计方法对一地区的工业总产值或各个部门的产值序列,进行时间多项式函数拟合,得其长期趋势项,并进行滤波后,得到其平稳序列(采用相对值,来消去单位的影响和绝对值年际间变化) $A(t)$,如下式表示

$$A(t) = B(t)/C_t \quad (6)$$

式中 C_t 为工业产值; $B(t)$ 为随机因子的影响,主要受气候因子的影响。

为了探讨这个序列与气候要素之间的关系,筛选了19种气象要素进行逐步回归分析,建立了回归方程(7)和(8)。

轻工业产值:

$$A_1(t) = 73.2938 - 4.1792x_1 + 1.5458x_6 - 0.0064x_8 \quad r = 0.55 \quad (7)$$

重工业产值:

$$A_2(t) = 20.574 + 3.3259x_6 - 0.0143x_8 - 4.6022x_{13} \quad r = 0.54 \quad (8)$$

式中 x_1 为年平均气温; x_6 为1月份平均最低气温; x_8 为年降水量; x_{13} 为最高气温大于 35°C 的天数; r 为复相关指数^[10]。

3.3 气候变化对农业部门的影响

粮食产量变化的原因有两个方面:一方面是社会生产水平的提高,另一方面是自然条件如气候变化的影响。目前,人们在分析气候变化对农作物产量影响时,通常是考虑“气象产量”。气候变化对农作物产量的影响、社会各部门对农业的技术和物资投入量的多少都会影响农业的产值。因此,应用投入-产出模型讨论气候变化对农业生产及社会经济的影响是很有意义的。

参考小麦生育期、产量、叶龄模拟模型及水稻发育期模型^[11],分析作物产量与气象条件的相关联系,作物经济学产量为

$$S = W \cdot K_c \quad (9)$$

式中, S 为作物产量, W 为生物学产量, K_c 为经济系数。对小麦有

$$W = \int_1^N d\tau w \cdot dT_d = \sum_1^N \Delta\tau w \quad (10)$$

$$P_{GD} = \int_{t_1}^{t_2} P_{\text{群体}}(t) dt \quad (11)$$

$$\frac{d\tau w}{dt} = P_{GD} \cdot 0.682 - r \quad (12)$$

$$P_{\text{群体}} = \int_0^F \frac{P_{\max} \cdot \alpha \cdot I_0 \cdot e^{-KF}}{P_{\max} + \alpha \cdot I_0 \cdot e^{-KF}} dF$$

$$= \frac{P_{\max}}{K} \cdot \left[\ln \frac{\alpha \cdot I_0 + P_{\max}}{P_{\max} + \alpha \cdot I_0 \cdot e^{-KF}} \right] \cdot F_T \cdot F_W \cdot F_C \cdot F_U \quad (13)$$

式中, $P_{\text{群体}}$ 为群体光合速率; P_{\max} 为饱和光合速率; α 为常数(弱光下光合效率); I_0 为群体上方的光合有效辐射; K 为群体消光系数; F 为累积叶面积指数; P_{GD} 为群体光合日累积量; t 为一天中的时间; t_1, t_2 为日出、日落时间; τw 为干物重; r 为呼吸系数; T_d 为发育期天数; F_T 为温度订正系数; F_W 为水分订正系数; F_C 为二氧化碳浓度订正系数; F_U 为紫外辐射订正系数。

对水稻的影响则用水稻发育期模型,该模型在“水稻栽培计算机模拟优化决策系统”(RCSODS)中称为水稻“钟模型”(详见文献[12])。

4 气候变化对未来经济的影响分析

对江苏省社会经济发展主要指标的定量预测,主要取自回归-滑动平均混合模型(ARMA),同时参照《江苏宏观模型及其应用》中的成果,并在预测结果上作了必要的调整。模型使用的样本数据,为历年的统计资料,序列长度多则43 a,少则十几年。1996~2020年江苏省社会经济主要指标的预测结果为:1996~2000年、2001~2010年、2011~2020年国民生产总值年递增率分别为10.7%,9.1%,7.0%。江苏省的产业结构调整将由目前的“二、三、一”向“三、二、一”转变;2010年构成比例为8.2:46:45.8;2020年构成比例为5.5:44.2:50.3^[14]。

4.1 湿度变化对未来经济的影响分析

由气候变化对工业影响的统计模型统计江苏省历年的轻工业与重工业的产值构成比例,求得各种温度变化情景下工业部门的产值变化量。并根据气候变化对农作物影响的模型,预测不同气候变化情景下粮食作物总产值的变化量。从而求得不同温度变化时工农业产值的变化量(表1)。

表 1 不同的温度变化与工农业产值的变化值(单位:万元)

温度变化	0.5℃	1.0℃	1.5℃	2.0℃	2.5℃
2010 年	-378091	-768332	-1146878	-1538003	-1915665
2020 年	-630037	-1276232	-1906705	-2553724	-3183374

由表可见,不同的温度变化对工农业产值有不同程度的影响。在实际的生产过程中由于国民经济各部门是相互联系的整体,工、农业部门在产品和资金的使用上,都与其他部门存在密切的相互联系。因此,气候变化对工、农业产值的影响将通过这种联系影响到国民经济的其他各个部门。文中计算了不同的气候背景下国民经济各部门的总产出的变化量(见表 2 和表 3,这里仅列出了 2010 年的结果)。可见气候变暖使各部门总产出有不同程度的减少,而且随着温度的升高,各部门总产出的减少量增大。利用投入-产出模型清晰地反映了气候变化对国民经济各生产部门的影响。

表 2 2010 年考虑温度变化对工业、农业的影响时,国民经济各部门总产出的变化量(单位:万元)

温度	农业	工业	建筑业	货运邮电业	商业饮食业	其他服务业	总产出增量
0.5℃	-101799	-1089611	-722	-24566	-55608	-50714	-1323020
1.0℃	-205571	-2216545	-1422	-49913	-113077	-103100	-2689628
1.5℃	-307868	-3306240	-2099	-74447	-168691	-153793	-4013138
2.0℃	-412746	-4433881	-2799	-99823	-226220	-206232	-5381701
2.5℃	-513938	-5522870	-3476	-124328	-281774	-256371	-6703257

由上可见,气候变化对工业、农业部门的影响波及到国民经济整体的各个部门,使各部门的产出量均减少。为了使国民经济各部门的总产出量不减少,需要采取相应的对策来适应气候变化。因此,为使各部门的发展不受影响,针对不同的气候变化,需要相应地对国民经济各个部门追加物质或资金投入量,以实现社会经济发展的既定计划。这里给出了 2010 年不同气温变化条件下对各部门需要追加的资金投入量(表 3)。

表 3 2010 年不同温度变化条件下为使工、农业产值不减少,需要对各部门追加的投入量(单位:万元)

温度	农业	工业	建筑业	货运邮电业	商业饮食业	其他服务业	追加投入合计
0.5℃	78633	734336	677	24519	55584	50665	944414
1.0℃	159739	1493695	1376	49867	113052	103051	1920780
1.5℃	238486	2228394	2053	74400	168667	153744	2865744
2.0℃	319814	2988460	2754	99776	226195	206183	3843182
2.5℃	398340	3722453	3430	124281	281570	256823	487077

对各经济部门追加投入,将会引起各国民经济部门之间流量即产品消耗的变化,从而使各部门间的相互联系发生变化。为了使工业和农业部门总产出量不减少,各部门相互之

间的流量也要进行相应的调整,才可以保证工业、农业总产出量的实现。文中计算了不同增温情况下,各部门之间流量与温度不发生变化时相比较的结果。表4列出了增温0.5℃时部门间流量的变化。

表4 2010年增温0.5℃时国民经济各个部门之间的流量变化表(单位:万元)

来自部门	进入部门					
	农业	工业	建筑业	货运邮电业	商业饮食业	其他服务业
农业	16782.44	60999.00	17.93	1.50	841.61	104.83
工业	21431.32	685012.33	389.94	7347.88	7781.68	12736.37
建筑业	18.72	226.66	2.50	26.08	139.92	263.24
货运邮电业	1069.72	19661.38	28.64	833.05	2193.86	746.95
商业饮食业	2166.45	49235.73	24.25	533.20	2255.76	1399.00
其他服务业	1196.16	30921.21	11.13	1150.99	13172.90	4240.13

由表4可见,温度升高,为使工业、农业部门的总产出不因气候变化减少,工业、农业部门对其他各部门的产品消耗量(部门间流量)都将增大,例如温度升高0.5℃时,工业部门对农业部门及工业部门自身的产品消耗量将分别增加60999.00和685012.33万元;农业部门对农业部门自身及工业部门的产品消耗量将分别增加16782.44和21431.32万元。

4.2 降水变化对未来经济的影响及相应对策

未来降水变化对工业、农业部门的产品同样具有一定的影响,为此,文中利用投入-产出模型计算了不同降水变化情况下,国民经济各部门总产量的变化,如表5所示(仅列出2010年当降水变化±10%时各部门总产出的变化量)。

表5 2010年降水变化时国民经济各部门的总产出的变化量(单位:万元)

降水变化	农业	工业	建筑业	货运邮电业	商业饮食业	其他服务业	总产出增量
+10%	-154597	-111561	-84	-4055	-8544	-7352	-286193
-10%	-11821	-8530	-7	-310	-654	-562	-21884

降水增加减少都会使农业、工业部门的产值减少,尤其是降水增加时对各部门的生产影响很显著,这与文献[11,12]结果一致。这种影响通过部门间的联系影响到其他各部门。为使各部门产出量不减少,需对各部门追加的投入量如表6(仅列出降水变化±10%的情况)所示:

表6 2010年降水变化±10%时,需要对国民经济各部门追加的投入量(单位:万元)

降水变化	农业	工业	建筑业	货运邮电业	商业饮食业	其他服务业	追加投入合计
+10%	21865	257351	664	12135	17819	15615	325449
-10%	1675	19715	51	930	1365	1196	24932

对各部门追加投入,使各部门之间产品消耗量相应的发生改变,即各部门间的相互联系发生了变化。表7为2010年若降水增加10%时,为使各部门总产出量不减少,各部门间流量的变化情况。

表 7 2010 年降水增加 10% 各个部门之间的流量变化(单位:万元)

来自部门	进入部门					
	农业	工业	建筑业	货运邮电业	商业饮食业	其他服务业
农业	4729.9	3051.09	1.00	0.12	74.45	8.68
工业	7600.44	33345.3	23.24	577.76	635.27	907.98
建筑业	0.80	10.09	0.13	1.93	9.60	17.04
货运邮电业	686.33	971.55	1.70	62.77	154.67	52.75
商业饮食业	1453.77	2316.32	1.38	40.6	159.39	94.09
其他服务业	707.27	1475.37	0.65	92.04	942.29	281.42

由上分析可知,考虑未来气候变化,要使工、农业产值及国民经济各部门的产出量不减少,应重点加大对工业、农业部门的资金投入量,同时也要增加各个部门之间的相互投入量,使各部门的产出量不因气候变化而减少,保证社会经济计划的实现。

4.3 气候变化对投入-产出模型参数的影响

直接消耗系数 a_{ij} 和间接消耗系数 b_{ij} 是投入-产出模型的重要参数。当气候发生变化时, a_{ij} , b_{ij} 参数也发生变化。若温度升高 0.5℃, 1.5℃ 时, 考虑气候变化对工、农业的影响, 将农业、工业、建筑业、货运邮电业、商业饮食业、其他服务业 6 部门的直接消耗系数与气候变化时的系数相比较, 求得个部门直接消耗系数的变化, 如表 8 所示(考虑温度变化较降水变化对模型参数影响显著, 列出温度变化时参数的变化情况)。结果表明, 气候变化对投入-产出模型中参数的影响是比较明显的。因此, 当气候变化时, 投入-产出模型的参数也将发生变化, 这是在经济发展规划时需要考虑的。

表 8a 不同的增温与各部门直接消耗系数

温度变化	农业	工业	建筑业	货运邮电业	商业饮食业	其他服务业
0.5℃	1.15	-0.16	0.00	-0.18	-0.07	-0.02
1.5℃	3.45	-0.45	-0.00	-0.19	-0.19	-0.13

表 8b 不同的增温与各部门间接消耗系数

温度变化	农业	工业	建筑业	货运邮电业	商业饮食业	其他服务业
0.5℃	0.84	-0.44	-0.30	-0.40	-0.28	-0.31
1.5℃	2.51	-1.34	-0.81	-1.18	-0.82	-0.92

5 小 结

气候变暖、降水增减使 2010, 2020 年的工业、农业产值和国民经济各部门总产出有不同程度的减少, 而且随着温度的升高, 降水的变化, 工、农业产值及各部门总产出的减少量增大。投入-产出模型清晰地反映了国民经济各生产部门的相互联系和作用。

为使工业、农业产值及与此相联系的各部门的产出量不因气候变化而减少, 应加大对各部门, 尤其是对工业、农业部门的资金投入量。同时也应增加国民经济各部门之间的相互投入量, 才能保证国民经济总产出量不因气候变化而减少。所以, 当气候变化时, 投入-产出模型的参数也将发生变化, 这是在经济发展规划时需要考虑的。

可见, 气候变化对国民经济的影响不是单一的, 而是整体的、复杂的。根据气候变化对国民经济的各部门及整体影响, 可以讨论减缓气候变化影响的对策、措施。

参考文献

- 1 Malone T, Yohe G. Towards a general method for analysis regional impacts of global change. *Global Environmental Change*, 1992, 2(2): 101~110
- 2 殷永元. 全球气候变化对区域持续发展的影响: 研究方法探讨. *南京气象学院学报*, 1999, 22(增刊): 465~471
- 3 缪启龙. 气候变化对长江三角洲海岸带的可能影响. *自然灾害学报*, 1995, 4(2): 11~15
- 4 缪启龙. 长江三角洲地区气候变化影响和适应对策综合评价研究. *南京气象学院学报*, 1999, 22(增刊): 479~485
- 5 张水勤, 向毓意等. 气候变化对长江三角洲地区水资源的影响. *南京气象学院学报*, 1999, 22(增刊): 513~518
- 6 张水勤等. 气候变化对长江三角洲地区水资源供需平衡的影响. *南京气象学院学报*, 1999, 22(增刊): 529~536
- 7 周锁铨等. 气候变化对环境经济影响的评估模式及其检验. *南京气象学院学报*, 1999, 22(增刊): 486~493
- 8 徐信, 王文亮, 梁保松. 线性代数基本方法及投入产出模型. 北京: 科学技术出版社, 1996, 202~228
- 9 马家善, 罗国梁. 社会经济学原理(增订本). 上海: 立信会计出版社, 1996, 430~442
- 10 吴息. 气候变化对长江三角洲地区工业及能源的影响分析. *南京气象学院学报*, 1999, 22(增刊): 541~547
- 11 郑有飞等. 气候变化对小麦生产影响的数值模拟研究. *南京气象学院学报*. 1999, 22(4): 645~652
- 12 郑有飞等. 气候变化对水稻光合产量影响探索. *南京气象学院学报*, 1999, 22(增刊): 536~541
- 13 李晓东, 赵宗慈. 人类活动对未来东亚地区气候变化的影响. 见: 中国的气候变化与气候影响研究. 北京: 气象出版社, 1997. 380~382
- 14 江苏省发展战略研领导小组办公室编. 1996~2020 江苏跨世纪发展战略. 南京: 江苏人民出版社, 1997, 7~30

RESEARCH ON INPUT-OUTPUT MODEL OF CLIMATE CHANGE ON REGIONAL ECONOMY

Zhang Yongqin

(Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Miao Qilong

(Department of Environment Sciences, Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract

Using basic theory of economic input-output analysis, sets up an input-output mathematical model to explore the impact of climate change on regional economy. This model combines with the models of climate change on agriculture and industry products. The research provides such a framework for climate impact analysis that can reflect the interactions among different sectors, individual and whole economic sectors. It can illustrate the nature of interrelationships among these economic sectors and between regions, also it incorporates climate change factors into the economic input-output analysis. With regard to natural and social status and economy developing scale and speed, the structure and proportion of the future first, second, third property, coefficients of the model are adjusted, the economic development in 2010, 2020 is predicted considering various impacts associated with climate change on agriculture and industry. Then we propose some adaptation countermeasures of climate change to the decision-making department for future developing policy.

Key words: Climate change, Input-output, Industry product, Agriculture product, Total output.