

# Прикладные модели общего равновесия для региональной ПОЛИТИКИ

Наталья Турдыева (ЦЭФИР)

По материалам статьи

Partridge, Rickman (2007)

CGE Modeling for Regional Economic  
Development Analysis

# Что такое прикладные (расчетные) модели общего равновесия (CGE)

- Прикладные (расчетные) модели общего равновесия (Computable General Equilibrium Models, CGE models) появились в 70-х годах XX века и с тех пор получили широкое распространение во всем мире, особенно в последние два десятилетия, чему способствовало бурное развитие вычислительной техники и резкий рост производительности компьютеров.

# Основные черты (С)GE: аналитическая структура модели

- Прикладные модели общего равновесия включают в себя модули, описывающие различные сектора экономики:
  - формирование предложения, как решение оптимизационной задачи производителя;
  - формирование спроса всех экономических агентов, как оптимальный выбор;
  - Баланс доходов и расходов для каждого агента
  - Баланс спроса и предложения на всех рынках со свободными ценами (исключение может составлять, например, рынок труда, если есть фиксированная минимальная зарплата).

# Основные черты CGE: данные

- Равновесная база данных
- Оценки эластичностей для CES и CET функций
- Калибровка: предположение о равновесии в базовом периоде

# What is a CGE model?

- CGE models are a class of **economic model** that use actual economic data to estimate how an economy might react to changes in policy, technology or other external factors. (Wikipedia)
- CGE models usually have most or all of the following characteristics:\*

  - Multiple agents
  - Agent's behavior derived from optimization
  - Multiple markets
  - Decentralized equilibrium

\* Following P.J. Wilcoxon (<http://wilcoxen.maxwell.insightworks.com/pages/371.html> )

# What is a CGE model?

- Designed for policy analysis
  - CGE model can evaluate effects of a specified policy change ONLY
- Policy areas with heavy use of CGE models
  - Tax policy
  - Trade policy
  - Environment policy

# What is a CGE model?

- CGE models usually
  - Employs benchmark balanced dataset for one year
  - Data meets the complexity of the model's structure
  - Separate estimation of behavioral parameters such as elasticities in CES/CET (constant elasticity of substitution/transformation) functions

# Economic agents

- Types of households
  - A representative household: one for entire economy or a region
  - Several types of households, defined on the basis of
    - Income – deciles groups
    - Occupation – urban vs rural households
    - Factor ownership – labor force vs capital owners

# Economic agents

- Types of producers
  - A representative producer: one for an industry
    - Usually there are several industries in a model
  - Many producers in one industry
    - Oligopoly models
    - Monopolistic competition models

# Economic agents

- Government
  - Government hierarchy implied by a model design
    - Federal government
    - Regional governments
  - Various ways to model a government
    - A consuming agent
    - A producing agent and consuming agent
  - Government budget:
    - Tax revenue
    - Interbudgetary transfers for regional governments.
  - Government's problem
    - Solution to a problem gives final demand by government

# Accounting identities

- Market clearance
  - Each market in a CGE model should be clear
  - Unless there are some special price frictions
  - There will be a market clearing equation for each market
- Income balances
  - All income received by agent in a model should be spend, no leakage
  - There will be one income balance equation for each agent

# Market behavior assumptions

- Perfect competition
  - This assumption was quite widespread in CGE models
  - Perfect competition implies both
    - Price-taking behavior
    - Zero profit
- Monopolistic competition
- Different oligopolistic models

# Price-neutrality

- Consumer demand functions are **homogeneous of degree zero in prices**.

$$\begin{aligned} QH_c(\lambda P_c, YH) &= \lambda^0 \cdot QH_c(P_c, YH) = \\ &1 \cdot QH_c(P_c, YH) = QH_c(P_c, YH) \end{aligned}$$

- There is price normalization in CGE models
- Excess demand is expressed in terms of relative prices

# Walras' Law

- Walras' Law
  - If each individual satisfies his budget constraint, so that the value of his excess demand is zero, then the value of the sum of the excess demands must be zero.
  - One implication of Walras' law: if at some non-zero vector of prices, all but one markets clear, the last market also clears.
  - In terms of equations in a CGE model: one equation is a linear combination of others, any you can cross it out.

# Equilibrium solution

- Uniqueness of equilibrium
  - No general proof of uniqueness of a CGE model equilibrium for an arbitrary model
  - Depends on model properties – have to be established in each case, if possible

# Square system

- Square system of non-linear equations: number of unknowns must be equal to number of equations
  - $n$  excess demand equations are not independent can determine only  $n-1$  prices
  - Drop one equation
    - Fix one price – this good will be a numeraire good - all prices will be expressed in terms of that good
    - For example – wage for one type of labor
    - Model consistency test: you can drop any equation and get the same result
  - Add a price-normalization equation
    - Express all prices in terms of a price absolute (fixed) price level

# Equilibrium solution

- Walrasian equilibrium
  - Vector of prices such that there is no good for which there is positive excess demand. If all goods are desirable then no good can be in excess supply in equilibrium.
- Solution of a system of non-linear equations
  - Demand functions are homogeneous of degree zero in prices (“no money illusion”)
  - Aggregate excess demand function is also homogeneous of degree zero in prices

# Numerical solutions\*

- Newton's Method
- Johansen's Method
- Shooting
- Multiple Shooting
- Fair-Taylor
- Finite Differences
- Simplex-Based Approaches

\*Following P.J. Wilcoxon: (

<http://wilcoxon.maxwell.insightworks.com/pages/483.html> )

# Software\*

- Gauss; Matlab; Ox
    - Ox is a well-designed matrix programming language. An alternative to Gauss and Matlab.
  - GEMPACK
    - Codsí, George, K.R. Pearson and Peter J. Wilcoxon (1992), "General-Purpose Software for Intertemporal Economic Models", *Computer Science in Economics and Management*.
    - Impact Project (1992), "An Introduction to GEMPACK," GEMPACK Document Number 1, Melbourne: The Impact Project, Monash University.
  - GAMS
    - Brooke, Anthony, David Kendrick and Alexander Meeraus (1988), *GAMS: A User's Guide*, Redwood City, California: The Scientific Press.
- \*Following P.J. Wilcoxon: (  
<http://wilcoxon.maxwell.insightworks.com/pages/483.html> )

# GAMS\*

- **Generalized Algebraic Modeling System**
  - GAMS is a language for setting up and solving mathematical programming optimization models.
  - GAMS can also solve simultaneous systems of equations and deal with computable general equilibrium models
  - GAMS allows one to specify the structure of an optimization model, specify and calculate data that go into that model, solve that model, do report writing on a model, and do a comparative statics analysis on that model, **all in one package**.

Following McCarl, Bruce et al. (2009).

# What is a SAM?

- A Social Accounting Matrix
  - A square matrix;
  - Each account is represented by a row and a column;
  - Each cell shows the payment from the account of its column to the account of its row:
    - the incomes of an account appear along its row;
    - the expenditures of an account appear along its column;
  - Principle of double entry accounting:
    - for each account in the SAM, total revenue (row total) equals total expenditure (column total).

# What is a SAM?

- Accounts
  - Activities
  - Commodities
  - Factors
  - Households
  - Enterprises
  - Government
  - Savings
  - Rest of the World (ROW)

# What is a SAM?

	Activities	Commodities	Factors	Households	Enterprises	Government	Investment	Rest of the World	Total
Activities		marketed outputs		home-consumed outputs					Activity income (Gross Output)
Commodities	intermediate inputs	transactions costs		private consumption		government consumption	investment	exports	Demand
Factors	value-added							factor income from RoW	factor income
Households			factor income to households	inter-household transfers	surplus to households	transfers to households		transfers to households from RoW	household income
Enterprises			factor income to enterprises			transfers to enterprises		transfers to enterprises from RoW	enterprise income
Government	producer taxes, value-added tax	sales taxes, tariffs, export taxes	factor income to government, factor taxes	transfers to government, direct household taxes	surplus to government, direct enterprise taxes			transfers to government from RoW	government income
Savings				household savings	Enterprise savings	government savings		foreign savings	savings
Rest of the World (RoW)		imports	factor income to RoW		surplus to RoW	government transfers to RoW			foreign exchange outflow
Total	activity expenditures	supply	factor expenditures	household expenditures	Enterprise expenditures	government expenditures	investment	foreign exchange inflow	

# SAM accounts

- Activities

	Activities	Commodities	Factors	Households	Enterprises	Government	Investment	Rest of the World	Total
Activities		marketed outputs		home-consumed outputs					Activity income (Gross Output)

- “Activity” carry out production
- Receipts of the “Activity” account are valued at producer prices
- “Activity” outputs are either exported or sold domestically

# SAM accounts

- Commodities

	Activities	Commodities	Factors	Households	Enterprises	Government	Investment	Rest of the World	Total
Activities		marketed outputs		home-consumed outputs					Activity income (Gross Output)
Commodities	intermediate inputs	transactions costs		private consumption		government consumption	investment	exports	Demand

- “Commodities” – markets for goods and services
- Receipts of the “Commodity” account are valued at market prices in the commodity accounts (i.e. including indirect commodity taxes and transaction costs).
- “Commodities” output consists of domestic supply and imports.

# SAM accounts

- Transaction costs

	Activities	Commodities
Activities		marketed outputs
Commodities	intermediate inputs	transactions costs

- For each commodity the SAM accounts for the transaction costs are associated with domestic, import, and export marketing
  - For domestic output: the cost of moving the commodity from the producer to the domestic market.
  - For imports: the cost of moving the commodity from the border (adding to the c.i.f. price) to the domestic market
  - For exports: the cost of moving the commodity from the producer to the border (reducing the price received by producers relative to the f.o.b. price)

# Transaction Costs

- Example of Transaction Costs Account:
  - Standard SAM for Zimbabwe (Lofgren, Harris, Robinson 2001).

Category	Activities					Commodities				Transaction costs		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Activities</b>												
1. Agriculture, large-scale	0	0	0	0	0	5,250	0	0	0	0	0	0
2. Agriculture, small-scale	0	0	0	0	0	670	0	0	0	0	0	0
3. Industry	0	0	0	0	0	0	17,859	0	0	0	0	0
4. Transportation	0	0	0	0	0	0	0	8,263	0	0	0	0
5. Other services	0	0	0	0	0	0	0	0	15,781	0	0	0
<b>Commodities</b>												
6. Agriculture	244	7	2,697	0	97	0	0	0	0	0	0	0
7. Industry	1,145	165	5,859	3,075	3,619	0	0	0	0	0	0	0
8. Transportation	38	29	176	183	282	0	0	0	0	3,444	1,689	986
9. Other services	715	30	281	421	1,685	0	0	0	0	0	0	0
<b>Transaction costs</b>												
10. Domestic sales	0	0	0	0	0	657	2,788	0	0	0	0	0
11. Imports	0	0	0	0	0	9	1,680	0	0	0	0	0
12. Exports	0	0	0	0	0	580	406	0	0	0	0	0

# SAM accounts

- Government account
  - The core government account
  - Tax collection accounts
    - Forward revenues to the core government account
    - Tax accounts:
      - Direct taxes on domestic nongovernment institutions and factors
      - Commodity sales taxes
      - Import taxes
      - Export taxes
      - Activity taxes
      - Value-added taxes

# SAM accounts

- Domestic non-government institutions
  - Households
  - Enterprises
- Enterprises
  - Do not consume
  - Earn factor income
  - May receive transfers from other institutions
  - Pay corporate (direct) taxes
  - Save
  - Transfer profits to other institutions

# SAM accounts

- Households
  - Own home consumption
    - household payments to activities
    - valued at producer prices
  - Consumption of marketed commodities
    - payments from household accounts to commodity accounts
    - values include marketing margins and commodity taxes
  - May receive transfers from other institutions
  - Pay direct household taxes
  - Save

# Data for a SAM

- National accounts
- Balance of payments
- Monetary accounts
- Public sector budget
- Input-output matrix
- Secondary data on household consumption, factor employment and capital stock.

# Data for a SAM

- Input-output matrix
  - Quality of the IO matrix constrains SAM development
  - Upper limit for sectoral/commodity disaggregation
  - Transaction matrices
- Deviations between different sources of data
  - SAM balancing methods

# Harberger units convention

- Benchmark data are usually in value terms, thus units must be chosen for goods and factors such that separate price and quantity observations.
- A widely employed convention, originally followed by Harberger (1962), is to assume units for both goods and factors such that they have a price of unity in the benchmark equilibrium.

# Calibration

- Calibration: Mansur and Whalley (1984)
- *Assumption:* Base year data depict benchmark equilibrium in the economy under consideration.
- Parameters of the model are calculated such that the model can reproduce the equilibrium data as a model solution (Benchmark replication test)
- Activity production parameters:
  - $ad_a$  – efficiency parameter in the production function for activity  $a$
  - $\alpha_{fa}$  – share of value-added for factor  $f$  in activity  $a$
  - Factor demand in the benchmark data is described by an optimal factor demand equation.

# Calibration

- Activity production parameters:

$$\overline{QA}_a = ad_a \prod_f \overline{QF}_{fa}^{\alpha_{fa}}$$

$$\overline{QF}_{fa}^{-1} (\alpha_{fa} \overline{PA}_a \overline{QA}_a) = \overline{WF}_f$$

$$\alpha_{fa} = \frac{\overline{WF}_f \overline{QF}_{fa}}{\overline{PA}_a \overline{QA}_a}$$

# Calibration

- Activity production parameters:

$$ad_a = \frac{\overline{QA}_a}{\prod_f \overline{QF}_{fa}^{\alpha_{fa}}}$$

# Численные модели региональной политики

- Виды моделей
  - Модели межотраслевого баланса
  - Модели матрицы социальных счетов
  - Региональные эконометрические модели
  - Региональные прикладные модели общего равновесия

# Модели МОБ и SAM

- Критика использования моделей межотраслевого баланса и модели SAM (матриц социальных счетов) для оценки региональной политики
  - Завышенные положительные эффектов
    - Без избыточного предложения факторов эти модели приводят к завышению последствий региональной экономической политики, так как неявно используют предположение о совершенной эластичности предложения. Rickman(1992) и Gillespie et al (2001)

# Модели МОБ и SAM

- Критика использования моделей межотраслевого баланса и модели SAM (матриц социальных счетов) для оценки региональной политики
  - Отсутствие явной экономической структуры
    - Например, модели МОБ не могут быть использованы для оценки региональной фискальной политики, направленной на увеличение привлекательности региона.
    - Koh, Schreiner and Shin (1993, p 50 ): “Policy makers can be misled by fixed price multiplier analysis into thinking that certain actions of a structural nature can bring rapid results”

# Региональные прикладные модели общего равновесия

- Свойства (желательные) региональных моделей ОР
  - Теоретическая основа региональных моделей должна лежать в теории размещения (location theory)

# Желательные свойства региональных моделей ОР

- Для анализа небольших (в экономическом плане) регионов, с устойчивыми межрегиональными связями, должны использоваться межрегиональные модели

## Желательные свойства региональных моделей ОР

- На рынке труда должно быть выделено несколько видов труда и различные механизмы отклика предложения на изменения экономической среды

# Желательные свойства региональных моделей ОР

- Необходимо использовать эмпирически выверенные спецификации безработицы и изменения экономически активного населения

# Желательные свойства региональных моделей ОР

- Передвижение населения между регионами, в том числе и временная (рабочая) миграция (commuting)

# Региональные прикладные модели общего равновесия

- Пространственная характеристика миграции для межрегиональных моделей (through multi-regional specification)

# Региональные прикладные модели общего равновесия

- Динамические модели, согласующиеся с известными эмпирическими закономерностями в данных

# Примеры анализа инфраструктурных проектов на транспортных

- модель SinoTERM (Horridge et al, 2005; Horridge and Witter, 2008)
- Модель используется для анализа возможных экономических последствий строительства скоростной железнодорожной ветки Чунцин-Личуань (Chongqing–Lichuan)

# Железнодорожная ветка Чунцин-Личуань



- Протяженность 244 км
- На 12% состоит из мостов
- И на 76% из туннелей
- Скорость может достигать 200 км/ч

Общий объём инвестиций – 16 млрд юаней (2,5 млрд долл США), при этом строительство новой двухпутной линии между [Чунцином](#) и Фулином (около 50 км, с севера от [Янцзы](#)) требует инвестиций 5.43 млрд юаней (850 млн долл США).



**Passenger dedicated line (PDL) network in People's Republic of China**

**4 north-south lines:**

- Jingha PDL : Beijing - Harbin
- Jinghu PDL : Beijing - Shanghai
- ( Linkage between Jingha & Jinghu PDL: Tianjin - Shenyang )
- Jinggong PDL : Beijing - Hong Kong
- Southeast Coastal PDL : Shanghai - Shenzhen

**4 east-west lines:**

- Qingtai PDL : Qingdao - Taiyuan
- Xulan PDL : Xuzhou - Lanzhou
- Huhanrong PDL : Shanghai - Chengdu
- Hukun PDL : Shanghai - Kunming

**Other PDL standard lines:**

- Rongguang PDL: Chengdu - Guangzhou
- Lanzxin PDL : Lanzhou - Ürümqi
- Hefu PDL: Hefei - Fuzhou

# Модель SinoTERM

- В модели экономика Китая представлена 137 секторами и 31 регионом (27 провинций и 4 муниципальных образования).
- База данных SinoTERM
  - таблицы «затраты-выпуск» для каждого региона (провинции),
  - данные о межрегиональных торговых потоках,
  - а также данные о потоках рабочей силы между всеми регионами модели.

# Модель SinoTERM

- Транспорт моделируется путем введения транспортных наценок (transport margins) – для пяти видов транспорта:
  - автомобильного,
  - железнодорожного,
  - водного,
  - воздушного
  - и трубопроводного транспорта.

# Модель SinoTERM

- Также рассматриваются торговые наценки (складские, оптовые и розничные) и наценка страхования.
- Наконец, тщательно проработана налоговая система.

# Модель SinoTERM

- В работе (Horridge and Witter, 2008) оценивались краткосрочные эффекты для экономики всех регионов Китая, в том числе для тех, по территории которых непосредственно пройдет эта ветка.
- Исследовались влияния
  - на рынок труда (изменение спроса на труд),
  - Изменение реальных доходов населения,
  - Поведение инвестиций, потребления и т.п.,
  - а также изменение ВРП.

# Модель SinoTERM

- Отметим, что в отличие от многих других работ, здесь учитывался эффект как от эксплуатации новой ветки железной дороги, так и эффект от ее строительства (фаза строительства моделировалась путем экзогенного увеличения спроса на труд в строительной отрасли в провинциях Чунцин и Хубэй).

# Модель SinoTERM

- Моделирование показало, что в краткосрочной перспективе в районах, прилегающих к маршруту новой магистрали,
  - масштабная стройка увеличит занятость,
  - реальное потребление,
  - реальные инвестиции,
  - повысит цены (в особенности в строительном секторе) вследствие увеличения агрегированного спроса.

# Модель SinoTERM

- Реальная заработная плата (номинальная заработная плата, пересчитанная с учетом индекса потребительских цен) в разных регионах либо росла, либо не менялась.
- Сильнее всего она выросла в провинциях Чунцин и Хубэй – там, где происходило строительство новой ветки.
  - Объясняется это увеличением спроса на труд и увеличением занятости в этих регионах.
  - В остальных провинциях реальная зарплата либо слегка выросла, либо не изменилась совсем.
- ВРП в целом немного вырастут, однако этот рост оказывается меньше, чем предсказывалось простейшей моделью межотраслевого баланса (input-output model).

# Прикладные модели общего равновесия с транспортными блоками

- В работе Kim and Hewings (2003) исследовалось влияние строительства сети скоростных автомобильных дорог в Южной Корее на регионы страны.
- Для этого используется межрегиональная CGE-модель, интегрированная с транспортной моделью (network transport model).

# Скоростные автомобильные дороги Южной Кореи

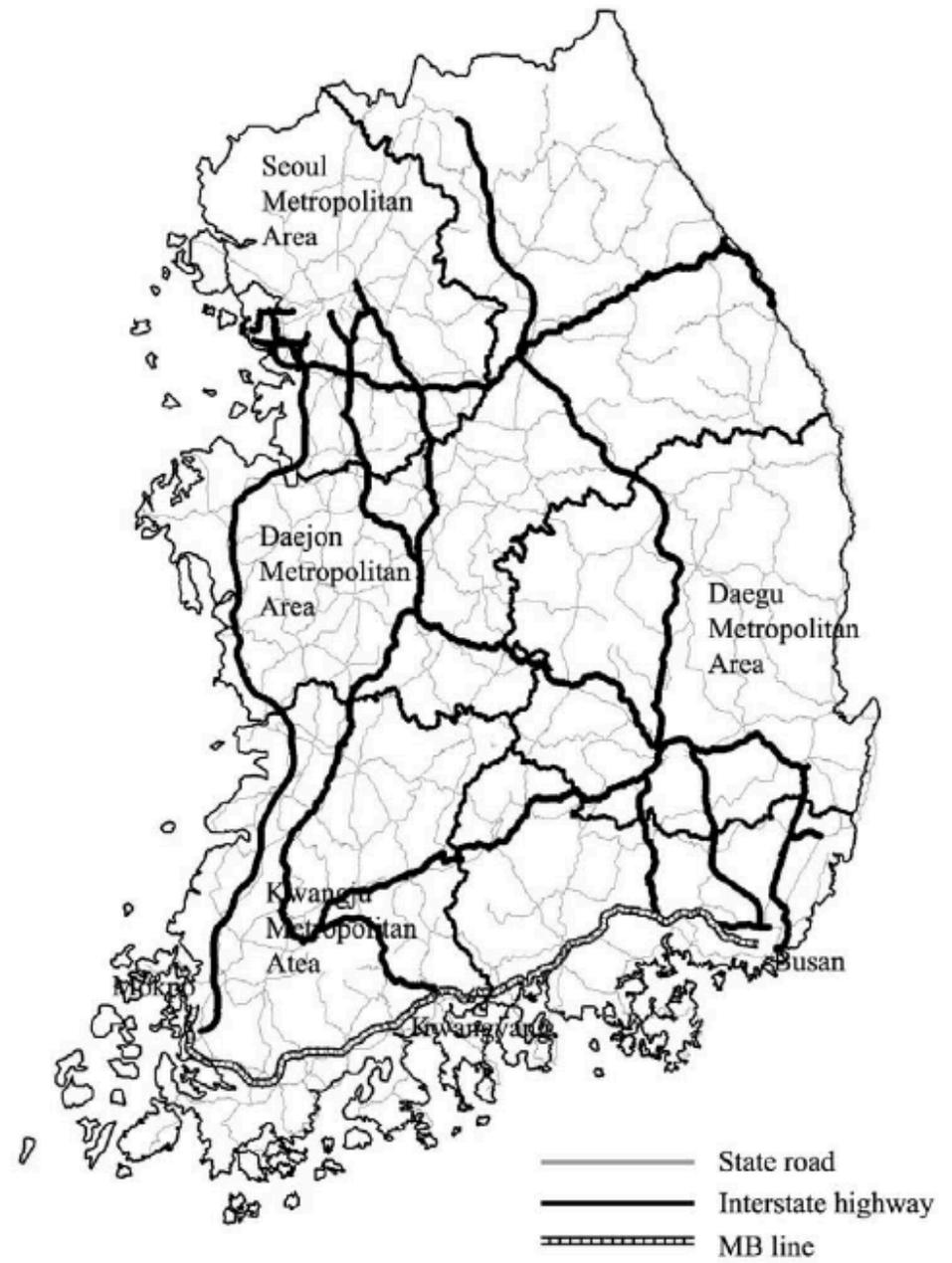
- Транспортная модель рассчитывает спрос на транспортные услуги между 132 транспортными зонами Южной Кореи путем оценки доступности магистралей, опираясь при этом на численность населения и данные о скорости передвижения по автомагистралям.
- В транспортном модуле рассчитываются маршруты минимальной протяженности между заданными пунктами.

# Скоростные автомобильные дороги Южной Кореи

- В CGE-модели представлены 6 регионов: 5 регионов Южной Кореи и весь остальной мир.
- В экономике выделены 4 сектора:
  - добывающая промышленность и сельское хозяйство,
  - обрабатывающая промышленность,
  - строительство
  - и сфера услуг.
- Экономические агенты – домохозяйства, фирмы и правительство.
- Используется рекурсивная динамическая структура модели общего равновесия.

# Скоростные автомобильные дороги Южной Кореи

- Модель оценивает последствия реализации проекта строительства
  - семи автомагистралей в направлении «север-юг»
  - и девяти автомагистралей в направлении «запад-восток», общей протяженностью более 6 тыс.км.
- Рассматривался 30-летний горизонт,
  - из которых первые 5 лет – это строительство автомагистралей.
- Также рассматривались несколько альтернативных маршрутов прокладки новых автомагистралей и сравнивались последствия разных вариантов реализации проекта.



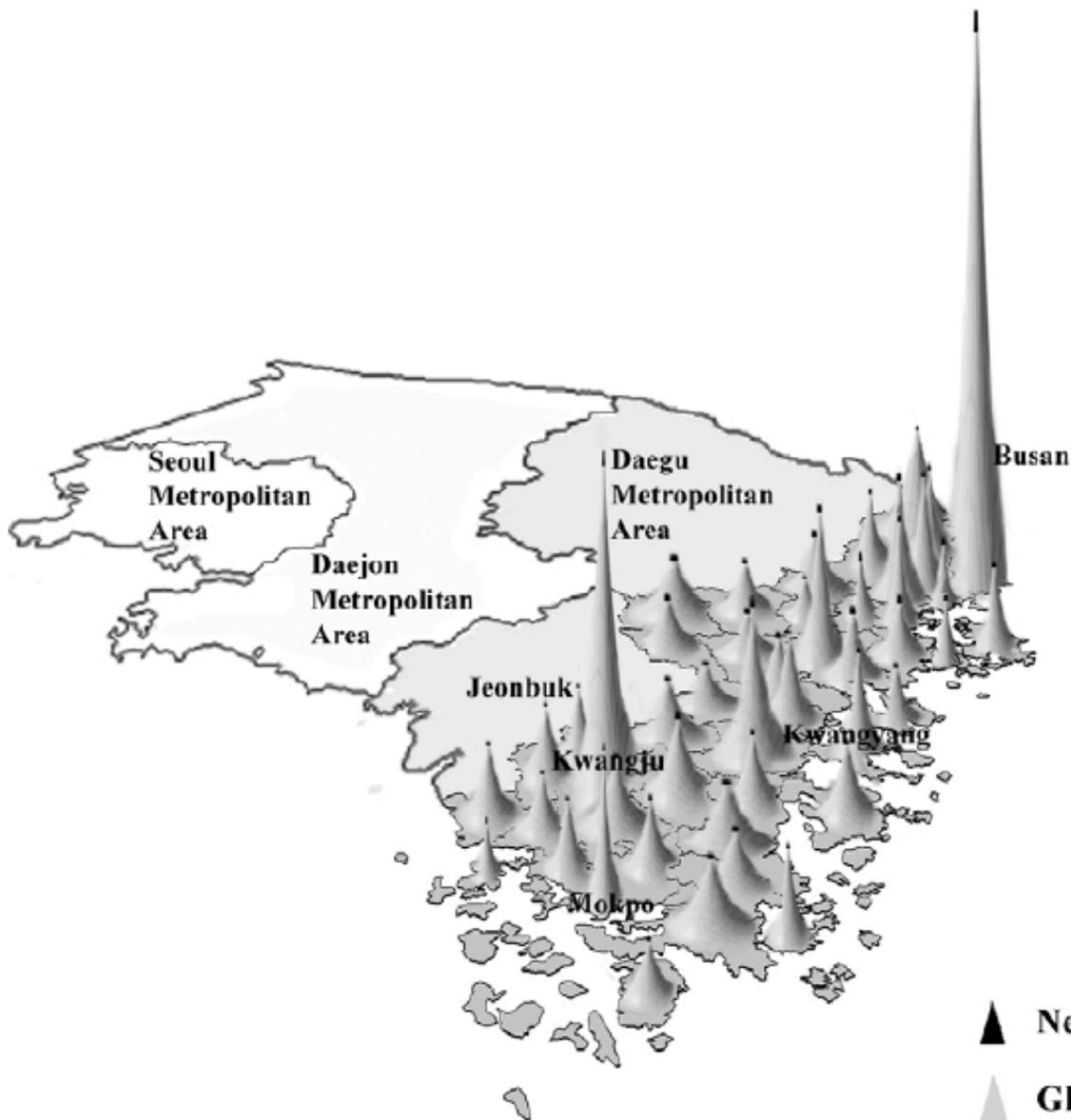
# Результаты

- В краткосрочном периоде наблюдается рост инвестиций,
  - рост валового регионального продукта
  - и промышленного производства в прилегающих регионах,
  - а также рост цен вследствие увеличения совокупного спроса.
- В долгосрочном периоде начинает ощущаться влияние новой транспортной сети, которое приводит
  - к изменению численности населения,
  - изменениям в темпах капитального строительства в различных регионах
  - и, как следствие, к перераспределению факторов производства между регионами
  - и к разнонаправленному изменению регионального выпуска (в одних регионах и секторах наблюдался рост, в других - небольшое падение),
  - цен и других экономических показателей.

# Результаты

- Особенно значительно увеличение ВРП в менее развитых регионах, таких, как Кванджу (Kwangju), то есть создание новой транспортной сети позволит сгладить различия в уровнях экономического развития разных регионов.

# Пространственное распределение ДОХОДОВ



- Городские агломерации Бусан (Busan) и Кванджу (Kwangju)
- Результаты расчетов на модели Dendrios-Sonis.