แบบจำลองแรงโน้มถ่วงทางการค้า
สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี

โยโต วี. โยตอฟ

(Yoto V. Yotov)

แปลเป็นภาษาไทยโดย

วิศรุต สุวรรณประเสริฐ

(Wisarut Suwanprasert)

DREXEL UNIVERSITY
Center for
Global Policy Analysis
LeBow College of Business

CGPA เผยแพร่บทความวิจัยเพื่อวัตถุประสงค์ในการอภิปรายและแสดงความคิดเห็นเท่านั้น เอกสารเหล่านี้ยังไม่ได้ผ่านการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิ หรือการพิจารณาจากคณะกรรมการของ CGPA ทั้งนี้ CGPA จะไม่รับผิดชอบต่อเนื้อหาและความถูกต้องของเอกสารในชุดนี้

เรียนอาจารย์ผู้ใช้เอกสารประกอบการสอนนี้ในรายวิชา

ผู้เขียนขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งที่ท่านเลือกใช้เอกสารประกอบการสอนนี้ในรายวิชาของท่าน เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นด้วยความตั้งใจและความพยายามอย่างมาก และผู้เขียนหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนของท่าน เอกสารนี้ รวมถึงข้อมูลและโค้ดสำหรับการวิเคราะห์เชิงปฏิบัติ และแบบฝึกหัดพร้อมเฉลย จัดทำขึ้นในลักษณะ “สินค้าสาธารณะ” ที่เปิดให้ใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ทั้งนี้ ผู้เขียนขอความร่วมมือจากท่านในประเด็นต่อไปนี้:

- กรุณาแนะนำให้นักศึกษาดาวน์โหลดบทเรียน ข้อมูล และโค้ดโดยตรงจากเว็บไซต์ Gravity_Undergrads เพื่อให้ผู้เขียนสามารถติดตามการใช้งานและประเมินผลประโยชน์จากเอกสารชุดนี้ได้
- หากท่านพบข้อผิดพลาด ความไม่สอดคล้อง หรือข้อเสนอแนะใด ๆ เกี่ยวกับเอกสาร ข้อมูล หรือโค้ด สามารถแจ้งให้ผู้เขียนทราบได้ที่ yotov@drexel.edu ผู้เขียนยินดีรับฟังและนำไปปรับปรุงในโอกาสต่อไป
- หากท่านต้องการเฉลยของแบบฝึกหัดท้ายบท กรุณาติดต่อผู้เขียนทางอีเมลที่ yotov@drexel.edu
- สุดท้าย ขอความกรุณาให้นักศึกษาอ้างอิงเอกสารนี้อย่างเหมาะสม หากมีการนำไปใช้ในการทำวิจัย

ข้อความจากผู้เขียน

เอกสารประกอบการสอนนี้สะท้อน “ความหลงใหลทางวิชาชีพ” ของผู้เขียนในสองด้าน ได้แก่ ความรักในการสอน และความมุ่งมั่นต่อแบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้าระหว่างประเทศ (*gravity model of trade*) ด้วยเหตุนี้ ผู้เขียนจึงมองว่าเอกสารฉบับนี้เป็นหนึ่งในผลงานที่มีคุณค่ามากที่สุดในอาชีพ และหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อทั้งนักศึกษาระดับปริญญาตรี นักศึกษาระดับปริญญาโท ตลอดจนผู้อ่านทั่วไปที่สนใจทำความเข้าใจพื้นฐานของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงทางการค้า

ผู้เขียนตัดสินใจศึกษาต่อในระดับปริญญาเอกด้วยแรงบันดาลใจจาก “การสอน” และ “แบบจำลองแรงโน้มถ่วง” และได้อุทิศตนทำงานวิจัยในสาขานี้มาอย่างต่อเนื่องตลอดอาชีพ ผลงานของผู้เขียนมีส่วนช่วยพัฒนาแบบจำลองแรงโน้มถ่วงในหลายมิติ ทั้งในด้านทฤษฎี วิธีการประมาณค่า เทคนิคการคำนวณ และการจัดทำฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เชิงประจักษ์ งานวิจัยเหล่านี้ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชั้นนำ และผู้เขียนยังได้มีโอกาสให้คำปรึกษาแก่องค์การระหว่างประเทศ หน่วยงานภาครัฐ และสถาบันวิจัย (think tanks) หลายแห่ง โดยใช้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์

สำหรับเอกสารประกอบการสอนฉบับนี้ สิ่งสำคัญคือ ประสบการณ์ของผู้เขียนในการสอนแบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้ากับผู้เรียนจากกว่า 130 ประเทศทั่วโลก รวมถึงการให้คำปรึกษาและกำกับงานวิจัยในระดับปริญญาตรี ประสบการณ์เหล่านี้ทำให้ผู้เขียนเชื่อมั่นว่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเป็นเครื่องมือที่ “เข้าถึงได้” และสามารถนำไปใช้ได้จริงสำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี ผู้เขียนจึงมองว่าเอกสารฉบับนี้เป็นโอกาสสำคัญในการนำเสนอ “เครื่องมือเชิงนโยบายและวิธีการเชิงประจักษ์สมัยใหม่” เข้าสู่ห้องเรียนระดับปริญญาตรี และรู้สึกเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ได้จัดทำเอกสารนี้

เกี่ยวกับผู้แปล วิศรุต สุวรรณประเสริฐ เป็นนักเศรษฐศาสตร์และอาจารย์ประจำภาควิชาเศรษฐศาสตร์และการเงิน มหาวิทยาลัยมิดเดิลเทนเนสซี (Middle Tennessee State University) ประเทศสหรัฐอเมริกา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และได้รับปริญญาโทและปริญญาเอกสาขาเศรษฐศาสตร์จากมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน–แมดิสัน (University of Wisconsin–Madison) มีความเชี่ยวชาญด้านเศรษฐศาสตร์การค้าระหว่างประเทศ และมีผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ อาทิ *Review of International Economics*, *The World Economy* และ *International Economics*

ผู้แปลหวังว่าเอกสารประกอบการสอนฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาไทยที่สนใจเศรษฐศาสตร์ระหว่างประเทศ และช่วยให้ผู้อ่านพัฒนาทักษะการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองแรงโน้มถ่วง

© 2026, Y. V. Yotov. All rights reserved.

คำขอบคุณและข้อจำกัดความรับผิดชอบ

ผู้เขียนขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและมิตรสหายหลายท่าน ที่มีส่วนร่วมทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการจัดทำบทนี้ ได้แก่ Delina Agnosteva, James Anderson, Scott Baier, Richard Baldwin, Richard Barnett, Jeff Bergstrand, Cosimo Beverelli, Ingo Borchert, Sebastien Bradley, Federico Carril-Caccia, Carsten Eckel, Peter Egger, Gabriel Felbermayr, Lisandra Flach, Javier Florez, Lionel Fontagne, Rebecca Freeman, Gene Grossman, Jean Grossman, James Harrigan, Beno Heid, Inga Heiland, Julian Hinz, Peter Herman, Paul Ko, Ohyun Kwon, Mario Larch, Maia Linask, Jeff Luckstead, Martina Magli, Inma Martinez-Zarzoso, Xenia Matschke, Jose Antonio Monteiro, Arne Nagengast, Sergei Nigai, Kevin O'Rourke, Jordi Paniagua, Blake Peters, Roberta Piermartini, Ray Riezman, Fernando Rios-Avila, Ana Maria Santacreu, Mauricio Sepulveda, Serge Shikher, João Santos Silva, Bob Staiger, Costas Syropoulos, Angelos Theodorakopoulos, Farid Toubal, Joschka Wanner, Erdal Yalcin, Jangsu Yoon, และ Tom Zylkin

ผู้เขียนขอขอบคุณ Blaize Giangiulio เป็นพิเศษ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอนของการจัดทำเอกสารประกอบการสอนนี้ รวมถึง Center for Global Policy Analysis (CGPA) มหาวิทยาลัย Drexel สำหรับการสนับสนุนและกำลังใจตลอดกระบวนการทำงาน

เช่นเดียวกับตำราระดับปริญญาตรีโดยทั่วไป เอกสารฉบับนี้ได้จำกัดจำนวนเอกสารอ้างอิงไว้เพียงบางส่วน อย่างไรก็ตาม ผู้อ่านจะพบการอ้างอิงไปยังงานวิจัยหลักและบทความสำคัญเพิ่มเติมแทรกอยู่ในเนื้อหาหลายช่วง

ผู้เขียนขอขอบคุณ วิศรุต สุวรรณประเสริฐ สำหรับการแปลเอกสารฉบับนี้เป็นภาษาไทย และ ดวงดาว มหากิจศิริ สำหรับความช่วยเหลือในการตรวจทาน พร้อมทั้งหวังว่าฉบับแปลนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาไทยในวงกว้าง

ผู้เขียนขอรับผิดชอบต่อเนื้อหาและข้อผิดพลาดทั้งหมดในเอกสารฉบับนี้แต่เพียงผู้เดียว

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี

แบบจำลองแรงโน้มถ่วง (Gravity Model) ถือเป็น “แบบจำลองหลัก” ของเศรษฐศาสตร์การค้าระหว่างประเทศ และเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์นโยบายการค้าที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์เชิงปริมาณเกี่ยวกับภาษีศุลกากรของประธานาธิบดีโดนัลด์ ทรัมป์ ในช่วงต้นปี 2025 ผลกระทบจาก Brexit และมาตรการคว่ำบาตรทางการค้าต่อรัสเซียภายหลังการรุกรานยูเครน ประเด็นเหล่านี้ซึ่งถูกนำเสนออย่างต่อเนื่องในสื่อระดับโลก ล้วนใช้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้าเป็นกรอบในการวิเคราะห์ ดังนั้น จึงไม่น่าแปลกใจที่แบบจำลองแรงโน้มถ่วงจะเป็นแบบจำลองเชิงประจักษ์เพียงแบบเดียวที่เคยปรากฏบนหน้าแรกของ *Financial Times* (ดูรูปที่ 1)

รูปที่ 1: แบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้าระหว่างประเทศใน Financial Times

FINANCIAL TIMES

TUESDAY 19 APRIL 2016 — WORLD BUSINESS NEWSPAPER — UK £2.70 Channel Islands £3.00; Republic of Ireland €3.00

Treasury's grim forecasts spark fury from Tory Brexit rebels

-9.5%
Negotiated bilateral agreement (like Canada)
-6.2%
Membership of EEA (like Norway)
-3.8%
... and the key equation
The Treasury's formula for calculating trade

$$\ln(T_{ijt}) = \alpha_{ij} + \gamma_t + \alpha_1 \ln(Y_{it} * Y_{jt}) + \alpha_2 \ln(POP_{it} * POP_{jt}) + \alpha_3 \ln(DIST_{ij}) + \alpha_4 COMLANG_{ij} + \alpha_5 COLONY_{ij} + \alpha_6 BORDER_{ij} + \varepsilon_{ijt}$$

Briefing

Big companies look outside for a leader
King quits Villa board after two months
Crude dips but recovers after talks fail
Buenos Aires ends 15-year debt exile
Israeli soldier charged over killing

Datawatch

Counterfeit and pirated goods

ที่มา: Financial Times, 19 เมษายน 2016 ได้แรงบันดาลใจจากปาฐกถาพิเศษของ Peter Neary ในฐานะประธานสมาคมเศรษฐศาสตร์แห่งสหราชอาณาจักร (Royal Economic Society) ในปี 2019

เหตุผลหลักที่ทำให้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงกลายเป็น “ดาวเด่น” ของวงการเศรษฐศาสตร์การค้าระหว่างประเทศ ได้แก่ (1) แบบจำลองนี้มีพลังในการพยากรณ์ที่โดดเด่น (2) มีรากฐานทางทฤษฎีที่มั่นคง (3) เข้าใจได้ง่ายสำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี และ (4) สามารถนำไปใช้วิเคราะห์เชิงประจักษ์ได้ในการศึกษานโยบายทางการค้าในหลากหลายบริบท อย่างไรก็ตาม แม้แบบจำลอง แรงโน้มถ่วงจะมีทั้งความแข็งแกร่งทางทฤษฎี ความสำเร็จในเชิงประจักษ์ ความเข้าใจที่ไม่ซับซ้อน และ ความสามารถใน การ ประยุกต์ใช้จริง แต่แบบจำลองนี้กลับไม่ได้รับการอธิบายอย่างเป็นระบบในตำราการค้าระดับปริญญาตรีส่วนใหญ่ เพื่อเติม เต็มช่องว่างดังกล่าว เอกสารประกอบการสอนนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 4 ประการคือ

- แนะนำแบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้าแก่ผู้เรียนระดับปริญญาตรี โดยอธิบายว่าเหตุใดแบบจำลองนี้จึงมีประโยชน์ และได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง พร้อมทั้งสรุปคุณสมบัติสำคัญที่ทำให้แบบจำลองนี้ประสบความสำเร็จ (นำเสนอ ในส่วนที่ 1)
- อธิบายรากฐานทางทฤษฎีของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบพื้นฐาน (naive gravity) จากนั้นขยายไปสู่แบบจำลองแรง โน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง (structural gravity) พร้อมชี้ให้เห็นนัยสำคัญของทฤษฎีต่อการประยุกต์ใช้และการประมาณ ค่าเชิงประจักษ์ (นำเสนอในส่วนที่ 2)
- แปลงแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงทฤษฎีให้เป็นแบบจำลองเศรษฐมิติเชิงประจักษ์ พร้อมอภิปรายประเด็นทางเศรษฐมิติที่มักเกิดขึ้นในการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วง และสรุปข้อเสนอแนะที่เข้าใจง่ายและสามารถนำไปใช้ได้

จริง (นำเสนอในส่วนที่ 3)

- เสนอการวิเคราะห์เชิงปฏิบัติ โดยใช้ข้อมูลจริงและโค้ดที่สามารถนำไปใช้งานได้ พร้อมแบบฝึกหัดและแนวทางสำหรับ การทำโครงงานวิจัยระดับปริญญาตรี ทั้งในรายวิชาเศรษฐมิติ รายวิชาอภิปราย หรือวิทยานิพนธ์ (นำเสนอในส่วนที่ 4 และแบบฝึกหัดท้ายบท)

1. แบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้าระหว่างประเทศ: ทำไมจึงควรศึกษา และเหตุใดจึงได้รับความนิยม?

จากประสบการณ์ของผู้เขียนในฐานะผู้สอนและที่ปรึกษา ประกอบกับข้อเสนอแนะจากเพื่อนอาจารย์และความคิดเห็นของนักศึกษาระดับปริญญาตรี ผู้เขียนเชื่อมั่นว่า “แบบจำลองแรงโน้มถ่วง” ควรได้รับการบรรจุในหลักสูตรระดับปริญญาตรี กล่องที่ 1 สรุปเหตุผลสำคัญว่าทำไมแบบจำลองนี้จึงควรถูกสอนในระดับปริญญาตรี และเหตุใดแบบจำลองนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน

กล่องที่ 1. ทำไมจึงควรศึกษาแบบจำลองแรงโน้มถ่วง และนักศึกษาได้รับประโยชน์อย่างไร

- แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสามารถพยากรณ์รูปแบบการค้าได้อย่างแม่นยำกว่ากรอบมาตรฐานในตำราระดับปริญญาตรี และได้รับการใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในวงวิชาการและเชิงนโยบาย
- แบบจำลองแรงโน้มถ่วงช่วยเสริมและยืนยันทฤษฎีการค้าแบบคลาสสิก โดยเปิดโอกาสให้นักศึกษาสามารถ “ทดสอบทฤษฎีด้วยข้อมูลจริง” ได้
- แบบจำลองแรงโน้มถ่วงมีการประยุกต์ใช้ที่ชัดเจน เนื่องจากคำนึงถึง “ต้นทุนการค้า” อย่างสมจริง และสามารถนำไปใช้กับข้อมูลจริงได้ง่าย จึงช่วยเพิ่มความน่าสนใจให้กับรายวิชาที่มักเน้นเนื้อหาเชิงทฤษฎี
- ด้วยโครงสร้างที่เข้าใจง่ายและไม่ซับซ้อน แบบจำลองแรงโน้มถ่วงจึงเข้าถึงได้สำหรับผู้เรียนในวงกว้าง รวมถึงนักศึกษาระดับปริญญาตรี
- พัฒนาการด้านเศรษฐมิติและการคำนวณในช่วงหลัง ทำให้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงประจักษ์สามารถนำไปใช้ได้ด้วยเครื่องมือพื้นฐาน เช่น OLS และ fixed effects เอกสารประกอบการสอนนี้จึงจัดเตรียมข้อมูลจริง โค้ดสำหรับการประมาณค่า และแบบฝึกหัดเชิงนโยบายไว้ให้พร้อมใช้งาน
- แบบจำลองแรงโน้มถ่วงมีการประยุกต์ใช้กว้างขวางเกินขอบเขตของการค้า โดยสามารถนำไปใช้ศึกษาปรากฏการณ์ทวิภาคีอื่น ๆ เช่น การย้ายถิ่นฐาน การลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศ (FDI) และสิทธิบัตรข้ามพรมแดน
- นอกจากวิชาเศรษฐศาสตร์การค้าระหว่างประเทศแล้ว แบบจำลองแรงโน้มถ่วงยังเป็นประโยชน์ต่อวิชาเศรษฐมิติ วิชาสัมมนาระดับปริญญาตรี และการทำวิจัยหรือวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้า (The Gravity Model of Trade) แบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้าระหว่างประเทศทำนายว่า กระแสการค้าแบบทวิภาคีระหว่างสองประเทศ (X_{ij}) หรือ “การนำเข้าของประเทศ j จากประเทศ i” จะมีค่าแปรผันโดยตรงกับขนาดเศรษฐกิจของผู้ส่งออกและผู้นำเข้า (Y_i และ Y_j) และแปรผันผกผันกับอุปสรรคทางการค้า (T_{ij}) ระหว่างสองประเทศ

$$X_{ij} = \tilde{G}\frac{Y_i Y_j}{T_{ij}^{\theta}} \tag{1}$$

โดยที่ $\tilde{G}$ คือค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วงทางการค้า และ θ คือค่าความยืดหยุ่นของกระแสการค้าต่ออุปสรรคทางการค้า (สะท้อนการตอบสนองของปริมาณการค้าต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการค้า) สมการ (1) สื่อว่า ประเทศที่มีขนาด

เศรษฐกิจใหญ่และมีอุปสรรคทางการค้าต่ำ (เช่น อยู่ใกล้กัน) จะมีมูลค่าการค้าระหว่างกันสูง แบบจำลองแรงโน้มถ่วงจึงมีความเรียบง่าย เข้าใจได้ไม่ยาก และได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในเศรษฐศาสตร์การค้าระหว่างประเทศ

ทำไมแบบจำลองแรงโน้มถ่วงจึงได้รับความนิยมอย่างสูง? มีเหตุผลหลัก 4 ประการที่ทำให้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเป็นที่ นิยม ทั้งในหมู่นักเศรษฐศาสตร์และนักวิเคราะห์นโยบาย ประการแรก ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงมีโครงสร้างที่คล้ายกับกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตัน จึงเข้าใจได้ง่ายและดำเนินไปอย่างเป็นธรรมชาติ

1. แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเข้าใจได้ง่าย

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้ามีโครงสร้างที่สอดคล้องกับกฎแรงโน้มถ่วงสากลของนิวตัน กล่องที่ 2 ด้านล่างแสดงให้เห็นว่ากระแสการค้าระหว่างสองประเทศสามารถตีความได้เสมือน “แรงดึงดูด” ระหว่างวัตถุสองชิ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับ “มวล” และ “ระยะห่าง” ของวัตถุเหล่านั้น ประเทศที่มีขนาดเศรษฐกิจใหญ่และมีอุปสรรคทางการค้าต่ำ (เช่น อยู่ใกล้กัน) จะมีปริมาณการค้าระหว่างกันสูง

กล่องที่ 2. แรงโน้มถ่วงในฟิสิกส์ vs. แรงโน้มถ่วงในการค้าระหว่างประเทศ

แรงโน้มถ่วงในฟิสิกส์

$$F_{ij} = G\frac{M_i M_j}{D_{ij}^2}$$

โดยที่:

F_{ij} คือ แรงโน้มถ่วงระหว่างวัตถุ i และวัตถุ j;

G คือ ค่าคงที่แรงโน้มถ่วงทางฟิสิกส์;

M_i และ M_j คือ มวลของวัตถุ i และวัตถุ j;

D_{ij} คือ ระยะห่างระหว่างวัตถุ i และวัตถุ j;

2 คือ ค่าความยืดหยุ่นของแรงโน้มถ่วงต่อระยะทาง

แรงโน้มถ่วงในการค้าระหว่างประเทศ

$$X_{ij} = \tilde{G}\frac{Y_i Y_j}{T_{ij}^{\theta}}$$

โดยที่:

X_{ij} คือ มูลค่าการค้าระหว่างประเทศ i และประเทศ j;

$\tilde{G}$ คือ ค่าคงที่แรงโน้มถ่วงทางการค้า;

Y_i และ Y_j คือ ขนาดเศรษฐกิจของประเทศผู้ส่งออก i และประเทศผู้นำเข้า j;

T_{ij} คือ อุปสรรคหรือต้นทุนทางการค้าระหว่างประเทศ i และประเทศ j;

$\theta > 0$ คือ ความยืดหยุ่นของกระแสการค้าต่ออุปสรรคทางการค้า

สิ่งที่ทำให้การเปรียบเทียบนี้น่าสนใจยิ่งขึ้นคือ แม้ว่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงของการค้าจะเริ่มต้นจาก “การเปรียบเทียบเชิงอุปมา” กับแรงโน้มถ่วงในฟิสิกส์ แต่ต่อมาสามารถอธิบายได้อย่างเป็นระบบด้วยทฤษฎีเศรษฐศาสตร์จุลภาค กล่าวคือ แบบจำลองนี้ไม่ได้เป็นเพียงสมการเชิงประจักษ์ หากยังมีรากฐานทางทฤษฎีที่มั่นคงรองรับ

เหตุผลประการที่สองที่ทำให้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงได้รับความนิยมอย่างมาก คือ ความสามารถในการนำไปใช้เชิงวิเคราะห์ประจักษ์ โดยแบบจำลองแรงโน้มถ่วงสามารถทำนายมูลค่าการค้าระหว่างประเทศได้อย่างแม่นยำ

2. แบบจำลองแรงโน้มถ่วงมีความสามารถในการพยากรณ์ที่โดดเด่น

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงให้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกันอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการค้าจริงกับค่าที่แบบจำลองคาดการณ์ได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังให้ค่าประมาณของตัวแปรอิสระที่สมเหตุสมผลทั้งในด้าน

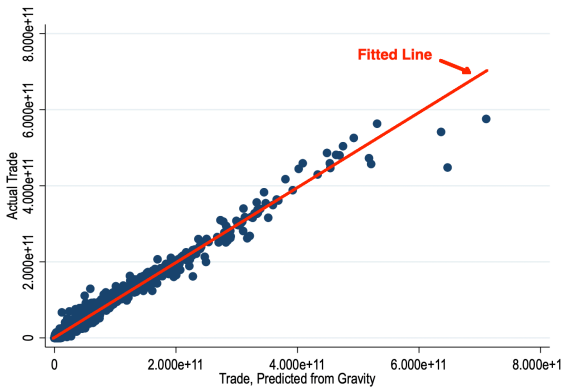
ขนาดและทิศทาง

ตัวแปรเหล่านี้มักเรียกว่า “ตัวแปรแรงโน้มถ่วงมาตรฐาน” ซึ่งรวมถึงลอการิทึมของระยะทางระหว่างประเทศคู่ค้า และตัวแปรบ่งชี้ (indicator variables) สำหรับพรมแดนที่ติดกัน ภาษาเดียวกัน ความสัมพันธ์เชิงอาณานิคม และข้อตกลงการค้าเสรีระดับภูมิภาค (RTA) ตัวอย่างเช่น การค้าจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นเมื่อมีการจัดตั้งข้อตกลงการค้าเสรีร่วมกัน

รูปที่ 2 แสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองแรงโน้มถ่วง โดยเปรียบเทียบมูลค่าการค้าจริงกับค่าที่แบบจำลองคาดการณ์สำหรับ 100 ประเทศผู้ส่งออกขนาดใหญ่ของโลก ในช่วงปี ค.ศ. 1990--2023 ผลการคาดการณ์ดังกล่าวมาจากแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงเศรษฐมิติสมัยใหม่ ซึ่งจะนำมาใช้อย่างเป็นทางการในบทที่ 4 ของเอกสารประกอบการสอนนี้

ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงประจักษ์สมัยใหม่มีประสิทธิภาพสูงในการพยากรณ์ ตัวอย่างเช่น ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการค้าจริงกับค่าที่แบบจำลองคาดการณ์สูงถึง 0.99 อย่างไรก็ตาม ดังที่จะได้แสดงเพิ่มเติมในบทที่ 4 และในแบบฝึกหัดท้ายบท แบบจำลองนี้ยังสามารถอธิบายความแตกต่างของการค้าระหว่างประเทศในระดับคู่ค้าได้อย่างแม่นยำ

รูปที่ 2: แบบจำลองแรงโน้มถ่วงทำงานได้จริง



ที่มา: ผู้เขียน จากการวิเคราะห์ในส่วนที่ 4 ของบทนี้

ผลการคาดการณ์ในรูปที่ 2 อ้างอิงจากข้อมูลช่วงปี ค.ศ. 1990--2023 ที่สำคัญ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งกับข้อมูลภาคตัดขวาง (*cross-section*) และข้อมูลช่วงยาว (*panel*) นอกจากนี้ ยังสามารถอธิบายรูปแบบการค้าได้ดีทั้งในระดับข้อมูลรวม (*aggregate data*) และข้อมูลแยกรายละเอียด (*disaggregated data*) ตั้งแต่ระดับสินค้า ระดับอุตสาหกรรม ไปจนถึงระดับเศรษฐกิจโดยรวม

เหตุผลประการที่สามที่ทำให้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางคือความยืดหยุ่นที่สูงของแบบจำลองนี้

3. แบบจำลองแรงโน้มถ่วงมีความยืดหยุ่นสูง

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัย เพื่ออธิบายมูลค้าการค้าและวิเคราะห์ปัจจัยกำหนดการค้า อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือมาตรฐานในการประเมินผลกระทบของนโยบายการค้า กล่องที่ 3 แสดงตัวอย่างปัจจัยกำหนดการค้าทั้งในกลุ่ม *"ดั้งเดิม"* และ *"เฉพาะทางมากขึ้น"* (แม้จะยังไม่ครอบคลุมทั้งหมด) ในการศึกษาผลของปัจจัยเหล่านี้ต่อกระแสการค้าหรือผลลัพธ์ทางเศรษฐกิจอื่น ๆ ผ่านช่องทางการค้า นักวิจัยมักใช้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง

กล่องที่ 3. การประยุกต์ใช้แบบจำลองแรงโน้มถ่วง

ปัจจัยกำหนดการค้าแบบ "ดั้งเดิม" ระยะทาง, การมีพรมแดนติดกัน, ขนาด GDP, ประชากร, ระดับการพัฒนา, ข้อตกลงการค้าเสรี (Preferential Trade Agreements), ภาษีศุลกากร, สงครามภาษี, เงินอุดหนุนการส่งออก, ภูมิศาสตร์, มาตรการที่ไม่ใช่ภาษี (Non-tariff Measures), การเป็นสมาชิกองค์การการค้าโลก (WTO), สหภาพศุลกากร (Customs Unions), สหภาพยุโรป (EU), การใช้สกุลเงินเดียวกัน, การเป็นสมาชิก OECD หรือ IMF, การลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศ (FDI), การย้ายถิ่นฐาน, ความสัมพันธ์ทางวัฒนธรรม, ประวัติอาณานิคม, ภาษาอย่างเป็นทางการที่ใช้ร่วมกัน ฯลฯ

ปัจจัยกำหนดการค้าแบบ "เฉพาะทาง" คุณภาพของสถาบัน, เงินช่วยเหลือต่างประเทศ, ความไว้วางใจ, ชื่อเสียงของผู้คนหรือของสินค้า, อัตราแลกเปลี่ยน, โควิด-19, Brexit, มาตรการส่งเสริมการส่งออก, สิทธิบัตร, มาตรการทางเทคนิค (TBT), มาตรการสุขอนามัยและพืชพันธุ์ (SPS), ภาษีเงินได้นิติบุคคล, ภาษีมูลค่าเพิ่ม, การจัดมหกรรมกีฬาขนาดใหญ่ (เช่น โอลิมปิก, ฟุตบอลโลก), มาตรการคว่ำบาตรทางเศรษฐกิจ (เช่น การต่อต้านรัสเซีย), ความขัดแย้งและสงคราม, การละเมิดลิขสิทธิ์, การละลายของน้ำแข็งขั้วโลก, การปิดคลองสุเอซ, สงครามภาษีของทรัมป์ ฯลฯ

สำหรับตัวอย่างการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ข้างต้น ผู้อ่านที่สนใจสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน Yotov (2024).

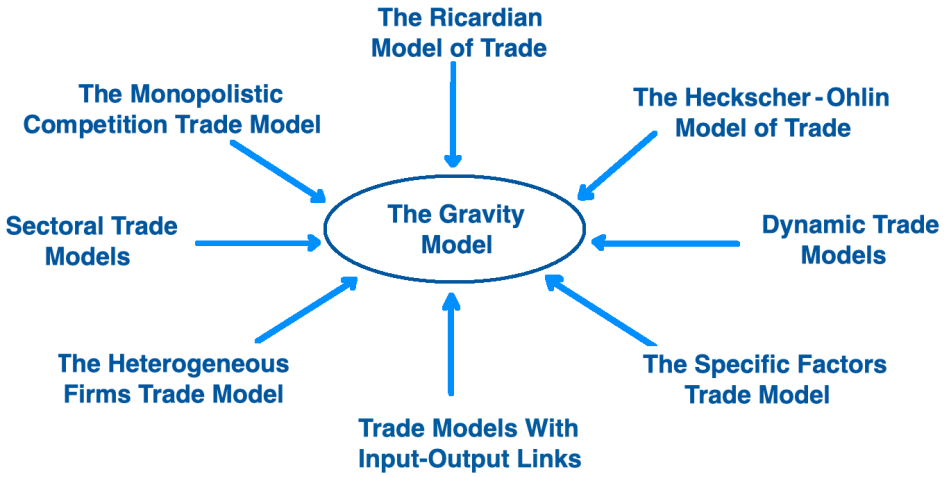
แบบจำลองแรงโน้มถ่วงไม่เพียงสามารถรองรับปัจจัยกำหนดการค้าได้หลากหลายประเภทเท่านั้น แต่ยังมีความยืดหยุ่นในอีกหลายมิติที่สำคัญ ได้แก่ ประการแรก แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสามารถนำไปใช้กับข้อมูลทุกระดับ ไม่ว่าจะเป็นระดับสินค้า ระดับอุตสาหกรรม หรือระดับภาคเศรษฐกิจ ประการที่สอง แม้ว่าฐานทฤษฎีของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงในบริบทอื่นอาจไม่ทัดเทียมเท่ากับในด้านการค้า แต่ก็ถูกนำมาใช้อย่างประสบความสำเร็จในการศึกษากระแสความสัมพันธ์ระหว่างประเทศในด้านอื่น ๆ เช่น การลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศ (FDI) การย้ายถิ่นฐาน และการถ่ายทอดเทคโนโลยีระหว่างประเทศ เป็นต้น ประการที่สาม แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงประจักษ์สมัยใหม่สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกด้วยโปรแกรมสถิติทั่วไป และประการสุดท้าย แบบจำลองแรงโน้มถ่วงยังสามารถบูรณาการเข้ากับแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ที่กว้างขึ้นได้อย่างยืดหยุ่น ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองการลงทุนในทุนทางกายภาพ แบบจำลองสิ่งแวดล้อม หรือแบบจำลองตลาดแรงงาน เป็นต้น

เหตุผลประการที่สี่ที่ทำให้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงประสบความสำเร็จ คือ แบบจำลองนี้สามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของทฤษฎีเศรษฐศาสตร์จุลภาค

4. แบบจำลองแรงโน้มถ่วงมีรากฐานมาจากทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์การค้า

หนึ่งในคุณลักษณะที่สำคัญของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงทางการค้า คือ ภายใต้สมมติฐานมาตรฐาน แบบจำลองนี้สามารถอนุมานได้จากรากฐานทางเศรษฐศาสตร์จุลภาคที่หลากหลาย (ดูรูปที่ 3) แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสามารถได้มาจากทฤษฎีการค้าคลาสสิกที่ปรากฏในตำราระดับปริญญาตรี เช่น แบบจำลองริคาร์เดียน (Ricardian model) แบบจำลองเฮคเชอร์--โอลิน (Heckscher--Ohlin model) แบบจำลองการแข่งขันกึ่งผูกขาด (monopolistic competition model) และแบบจำลองปัจจัยเฉพาะ (specific factors model) นอกจากนี้ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงยังปรากฏในกรอบการวิเคราะห์ที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองระดับอุตสาหกรรม แบบจำลองเชิงพลวัต แบบจำลองที่มีโครงสร้าง input--output และแบบจำลองที่มีความแตกต่างระหว่างบริษัท (heterogeneous firms)

รูปที่ 3: รากฐานทางทฤษฎีของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงทางการค้า



ที่มา: ผู้เขียน ดัดแปลงจาก Yotov et al. (2016).

วงวิชาการเศรษฐศาสตร์ใช้เวลานานกว่าจะตระหนักว่า ทฤษฎีการค้าที่แตกต่างกันจำนวนมากล้วนบรรจบกันที่แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเดียวกัน ซึ่งมีโครงสร้างเรียบง่ายและเข้าใจได้ง่าย (ดูเพิ่มเติมในกล่องที่ 4) อย่างไรก็ตาม เมื่อมองย้อนกลับไป ข้อค้นพบนี้อาจไม่น่าประหลาดใจนัก เนื่องจากปัจจัยที่กำหนดการค้าสามารถสรุปได้เป็นสามองค์ประกอบหลัก ได้แก่ อิทธิพลจากประเทศผู้ส่งออก อิทธิพลจากประเทศผู้นำเข้า และอิทธิพลแบบทวิภาคีระหว่างกัน แนวคิดนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับความสัมพันธ์ทางเศรษฐกิจและสังคมแบบทวิภาคีอื่น ๆ ได้เช่นกัน ดังนั้น วิธีการเชิงประจักษ์และการวิเคราะห์เชิงปฏิบัติในหมวดที่ 3 และหมวดที่ 4 จึงสามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง เช่น การลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศ (FDI) การย้ายถิ่นของแรงงาน และการถ่ายทอดเทคโนโลยีระหว่างประเทศ เป็นต้น

รากฐานทางทฤษฎีของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงให้ข้อคิดสำคัญต่อการวิเคราะห์เชิงประจักษ์หลายประการ ตัวอย่างเช่น การยึดโยงกับทฤษฎีอย่างใกล้ชิดช่วยเพิ่มความสามารถในการพยากรณ์ของแบบจำลอง และทำให้การประมาณผลของนโยบายการค้ามีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ การพิจารณาคุณลักษณะทางทฤษฎีของแบบจำลองยังช่วยอธิบายปริศนาหลายประการในวรรณกรรมการค้าระหว่างประเทศ เช่น ผลของระยะทางต่อการค้ายังไม่ลดลงตามกาลเวลา หรือข้อจำกัดในการอธิบายความไม่สมดุลของการค้าระหว่างประเทศคู่ค้า ทฤษฎีแรงโน้มถ่วงยังนำไปสู่ข้อเสนอแนะเชิงวิธีการที่สำคัญ เช่น การคำนึงถึง “ต้นทุนการค้าแบบพหุภาคี” (multilateral trade costs) ซึ่งจะอธิบายอย่างละเอียดในหมวดถัดไป และ ประการสุดท้าย ทฤษฎีแรงโน้มถ่วงยังเปิดโอกาสให้นักวิจัยเชื่อมโยงการค้าเข้ากับผลลัพธ์ทางเศรษฐกิจอื่น ๆ เช่น ตลาดแรงงาน สิ่งแวดล้อม การลงทุนในสินค้าทุน และการเติบโตทางเศรษฐกิจ เป็นต้น

หมายเหตุ เช่นเดียวกับสิ่งประดิษฐ์สำคัญอื่นๆ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงไม่ได้กลายเป็นแบบจำลองหลักของการค้าระหว่างประเทศในชั่วข้ามคืน ดังที่สรุปไว้ในกล่องที่ 4 แบบจำลองนี้ต้องใช้เวลาหลายปีจึงจะได้รับการยอมรับจากนักเศรษฐศาสตร์การค้าระหว่างประเทศ และในที่สุดจึงกลายเป็นแบบจำลองมาตรฐานในการวิเคราะห์การค้า

กล่องที่ 4. ประวัติความเป็นมาของของแบบจำลองแรงโน้มถ่วง

แม้ว่าในปี ค.ศ. 2025 แบบจำลองแรงโน้มถ่วงจะได้กลายเป็นเครื่องมือหลักในเศรษฐศาสตร์การค้าระหว่างประเทศ แต่เส้นทางสู่ความสำเร็จของแบบจำลองนี้ไม่ได้ราบรื่นนัก ในช่วงแรก แนวคิดแรงโน้มถ่วงในเศรษฐศาสตร์ยังไม่ได้มีรากฐานจากทฤษฎีเศรษฐศาสตร์โดยตรง หากเป็นเพียงการเปรียบเทียบกับกฎแรงโน้มถ่วงในฟิสิกส์ นักวิชาการจำนวนมากยกให้ Tinbergen (1962) เป็นผู้บุกเบิกการนำแบบจำลองแรงโน้มถ่วงมาใช้ในเศรษฐศาสตร์ ซึ่งในบริบทของการค้าระหว่างประเทศก็อาจกล่าวได้ว่าถูกต้อง เนื่องจากเขาเป็นผู้ได้รับรางวัลโนเบลในปี 1969 และเป็นผู้ที่นำแบบจำลองนี้มาประยุกต์ใช้กับการค้าเป็นครั้งแรก อย่างไรก็ตาม ก่อนหน้านั้น Ravenstein (1885) ได้ใช้แนวคิดแรงโน้มถ่วงเพื่ออธิบายการย้ายถิ่นฐานของประชากร (migration) แล้ว แม้ว่าลูกศิษย์ของ Tinbergen จะสานต่อแนวทางนี้ในช่วงทศวรรษ 1960-1970 แต่นักเศรษฐศาสตร์ส่วนใหญ่ในขณะนั้นยังไม่ยอมรับแบบจำลองแรงโน้มถ่วงในฐานะกรอบการวิเคราะห์การค้าที่สำคัญ เนื่องจากมองว่าแบบจำลองดังกล่าวขาดรากฐานทางทฤษฎีที่ชัดเจน

แม้จะมีการถกเถียงว่าใครริเริ่มใช้แบบจำลองนี้ นักเศรษฐศาสตร์ส่วนใหญ่เห็นตรงกันว่า Anderson (1979) เป็นผู้ที่ให้รากฐานทางทฤษฎีสำหรับแบบจำลองแรงโน้มถ่วงทางการค้าที่ใช้กันในปัจจุบัน แม้จะมีการปรับปรุงเชิงทฤษฎีในเวลาต่อมา แต่งานของ Anderson (1979) ก็ยังคงสอดคล้องกับการวิเคราะห์เชิงประจักษ์ของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงสมัยใหม่ แม้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงจะเข้าใจง่าย มีประสิทธิภาพเชิงประจักษ์สูง และมีรากฐานทางทฤษฎีที่มั่นคง แต่แบบจำลองยังต้องดิ้นรนเพื่อให้ได้รับการยอมรับจากนักเศรษฐศาสตร์การค้ากระแสหลักในช่วงทศวรรษ 1980 และ 1990 งานเขียนสำคัญใน *Handbook of International Economics* ไม่ได้สนับสนุนแบบจำลองนี้และตั้งข้อสงสัยต่อรากฐานทางทฤษฎีของแบบจำลอง พร้อมทั้งคาดการณ์ว่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงจะไม่มีบทบาทสำคัญต่อการศึกษาการค้าระหว่างประเทศ

จนถึงต้นทศวรรษ 2000 นักเศรษฐศาสตร์จำนวนมากยังคงมองข้ามแบบจำลองแรงโน้มถ่วง และใช้เพียงในการวิเคราะห์เชิงนโยบาย อย่างไรก็ตาม ความก้าวหน้าสำคัญในช่วงต้นทศวรรษ 2000 นำไปสู่ยุคทองของ “แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง” (Structural Gravity Model) ระหว่างปี ค.ศ. 2002-2012 ประการแรก งานของ Eaton and Kortum (2002) และ Anderson and van Wincoop (2003) ยืนยันว่า แบบจำลองแรงโน้มถ่วงมีรากฐานทางทฤษฎี ประการที่สอง งานวิจัยเชิงประจักษ์ของ Frankel and Romer (1999) และ Rose (2000) ช่วยลดอคติที่มีต่อแบบจำลองนี้และฟื้นฟูสถานะของแบบจำลองให้เป็นเครื่องมือเชิงประจักษ์ที่สำคัญ ประการที่สามมีการพัฒนาฐานข้อมูลขนาดใหญ่และความก้าวหน้าด้านเศรษฐมิติ (Baldwin and Taglioni, 2006)

ในช่วงที่เรียกว่า “ยุคทอง” ของแบบจำลองแรงโน้มถ่วง (2002-2012) แบบจำลองนี้ได้รับการยอมรับเป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์การค้า และถูกนำไปใช้ในงานวิจัยอย่างกว้างขวาง ครอบคลุมทั้งการประยุกต์เชิงประจักษ์ การพัฒนาทฤษฎี วิธีการประมาณค่า และฐานข้อมูลใหม่ งานส่วนใหญ่มุ่งศึกษาผลของนโยบาย และปัจจัยกำหนดการค้าต่อการค้าทวิภาคี เช่น ข้อตกลงการค้าเสรี (FTA) การเป็นสมาชิก WTO ระยะทาง และความสัมพันธ์อาณานิคม แม้งานจำนวนมากยังใช้แบบจำลองในรูปแบบทั่วไป แต่การยึดโยงกับทฤษฎีที่เข้มงวดขึ้นช่วยเพิ่มความเข้าใจกลไกการค้าและความน่าเชื่อถือของผลการประมาณค่า

ยุคนี้ยังมีความก้าวหน้าทางทฤษฎีที่สำคัญ เช่น แบบจำลองแรงโน้มถ่วงระดับอุตสาหกรรม ระดับบริษัท และแบบพลวัต ความสนใจที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งมาจากกำลังประมวลผลคอมพิวเตอร์ที่สูงขึ้น ซึ่งเอื้อให้เกิดวิธีการประมาณค่าใหม่ เช่น การใช้ fixed effects ของผู้ส่งออก ผู้นำเข้า และคู่ประเทศ รวมถึงการประมาณค่าด้วย Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML) โดย Santos Silva and Tenreyro (2006) ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นมาตรฐานในการประมาณแบบจำลองแรงโน้มถ่วง

งานของ Arkolakis et al. (2012) แสดงให้เห็นว่า แม้แบบจำลองการค้าจะตั้งอยู่บนรากฐานจุลภาคที่แตกต่างกัน แต่ล้วนให้ผลลัพธ์เชิงแรงโน้มถ่วงในที่สุด ข้อค้นพบนี้ตอกย้ำบทบาทของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้างในเศรษฐศาสตร์การค้า และนำไปสู่การกลับมาได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยปรากฏเด่นใน *Handbook of International Economics* รวมถึง *Handbook of International Trade and Transportation* และหนังสือด้านนโยบายการค้าอื่น ๆ

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงประจักษ์ยังคงเป็นเครื่องมือหลักสำหรับงานประยุกต์สมัยใหม่ ขณะเดียวกัน งานวิจัยได้หันกลับมาทบทวนการวัดต้นทุนการค้าและบทบาทของปัจจัยต่าง ๆ เช่น สหภาพเงินตรา การละเมิดลิขสิทธิ์ ภาษา อัตราแลกเปลี่ยน และมาตรการกีดกันทางการค้าโดยอาศัยวิธีการที่พัฒนาขึ้น นอกจากนี้ การเข้าถึงข้อมูลที่มีคุณภาพสูงขึ้นยังเปิดโอกาสให้สามารถศึกษาผลกระทบที่แตกต่างกันของนโยบายการค้าได้อย่างเป็นระบบ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงยังสามารถอธิบายรูปแบบการค้าในหลายภาคส่วน ทั้งภาคบริการ การทำเหมือง และเกษตรกรรม และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับข้อมูลในหลายระดับ ตั้งแต่ระดับสินค้าจนถึงระดับรวม ด้วยเหตุนี้ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงจึงกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาปัจจัยที่กำหนดการค้า นอกจากนี้ นักวิชาการและผู้กำหนดนโยบายยังนำแบบจำลองนี้ไปใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทวิภาคีในมิติอื่น ๆ เช่น การย้ายถิ่นฐาน การลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศ และการยื่นจดสิทธิบัตรข้ามพรมแดน

ในช่วงเวลาเดียวกัน ยังเกิดความก้าวหน้าอย่างสำคัญในด้านวิธีการประมาณค่า โดยมีหลักฐานสนับสนุนว่า PPML สอดคล้องกับโครงสร้างของแบบจำลองแรงโน้มถ่วง ทำให้นักวิจัยสามารถวิเคราะห์นโยบายการค้าได้อย่างครอบคลุมด้วยโปรแกรมสถิติมาตรฐาน โดยไม่จำเป็นต้องพัฒนาโค้ดเฉพาะ ในด้านทฤษฎี มีการพัฒนาแบบจำลองที่ผสานโครงสร้าง input-output และพลวัตทวิภาคี ความก้าวหน้าเหล่านี้ เมื่อประกอบกับเครื่องมือทางเศรษฐมิติและการคำนวณสมัยใหม่ ได้นำไปสู่งานวิจัยที่เชื่อมโยงการค้ากับผลลัพธ์ทางเศรษฐกิจอื่น ๆ เช่น การแพร่กระจายเทคโนโลยี การว่างงาน และการปล่อยคาร์บอน ขณะเดียวกัน ยังมีการจัดทำฐานข้อมูลแรงโน้มถ่วงรุ่นใหม่ที่ครอบคลุมทั้งตัวแปรอธิบายและข้อมูลการค้าในหลายระดับ เพื่อรองรับการวิจัยในอนาคต

ความสำเร็จของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงปรากฏชัดในปี 2025 จากการเปลี่ยนแปลงนโยบายภาษีนำเข้าของประธานาธิบดีสหรัฐฯ Donald Trump ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง เช่น ภาษีเหล็กต่อแคนาดาซึ่งถูกประกาศใช้ในตอนเช้าและยกเลิกในช่วงบ่ายของวันเดียวกัน ด้วยความก้าวหน้าของวรรณกรรมแรงโน้มถ่วง เราจึงสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของนโยบายการค้าได้อย่างครบถ้วน ทั้งในดุลยภาพบางส่วนและดุลยภาพทั่วไปแบบแทบทันที

บทสรุปเกี่ยวกับวิวัฒนาการของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงนี้ดัดแปลงจาก Yotov (2024)

2. แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง

ส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการเรียนรู้สามประการ ประการแรก เพื่อแนะนำแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงทฤษฎี หรือแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง (*theoretical/structural gravity model*) สำหรับการค้า ประการที่สอง เพื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบดั้งเดิม (*naive gravity equation*) กับแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง โดยเน้นความแตกต่างที่เกิดจากรากฐานทางทฤษฎี และประการที่สาม เพื่ออธิบายนัยสำคัญของทฤษฎีต่อการสร้างแบบจำลองการค้าระหว่างประเทศและการประมาณค่าให้สอดคล้องกับหลักเศรษฐศาสตร์

2.1. ทุกแบบจำลองล้วนมุ่งสู่สมการแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง

ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ หนึ่งในคุณลักษณะที่สำคัญของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงทางการค้า คือ แบบจำลองนี้สามารถอนุมานได้จากรากฐานทางเศรษฐศาสตร์จุลภาคที่หลากหลาย ทฤษฎีเหล่านี้บางส่วนยังเป็นหัวข้อพื้นฐานในตำราการค้าระหว่างประเทศระดับปริญญาตรี (ดูรูปที่ 3) ตามแนวทางการพัฒนาแบบจำลองเชิงทฤษฎี แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้างสมัยใหม่สามารถอธิบายได้เป็นสองขั้นตอน โดยเริ่มจากแบบจำลองในรูปแบบภาคตัดขวาง (*cross-section structural gravity equation*) ที่สอดคล้องกับทฤษฎีการค้าคลาสสิก[1]

$$X_{ij} = \frac{Y_i E_j}{Y}\left(\frac{t_{ij}}{T_j T_i}\right)^{-\theta}. \tag{2}$$

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง (2) แตกต่างจากแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบดั้งเดิม (1) ที่กล่าวไว้ก่อนหน้าในสามประการซึ่งมีพื้นฐานจากทฤษฎี ประการแรก แบบจำลองนี้นำผลผลิตรวมของโลก (Y) มาเป็นองค์ประกอบเชิงโครงสร้างที่อยู่เบื้องหลังค่าคงที่แรงโน้มถ่วง $\tilde{G}$ กล่าวคือ ปริมาณการค้าระหว่างสองประเทศจะแปรผันตามผลคูณของขนาดเศรษฐกิจของทั้งสองประเทศเมื่อเทียบกับผลผลิตรวมของโลก

ประการที่สอง แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้างแยกตัวชี้วัด “ขนาดเศรษฐกิจ” ออกเป็นสองด้าน ได้แก่ ด้านผู้ส่งออกซึ่งวัดด้วยมูลค่าการผลิต (Y_i) และด้านผู้นำเข้าซึ่งวัดด้วยมูลค่าการใช้จ่ายหรืออุปสงค์รวม (E_j) โดยทั่วไป ขนาดของประเทศผู้ส่งออกสะท้อน “ศักยภาพการผลิต” ขณะที่ขนาดของประเทศผู้นำเข้าสะท้อน “กำลังการบริโภค” ความแตกต่างนี้มีความสำคัญมากขึ้นเมื่อวิเคราะห์ในระดับที่ละเอียด เช่น ระดับอุตสาหกรรมหรือระดับสินค้า โดยเฉพาะในกรณีที่มีความไม่สมดุลของการค้าระหว่างอุตสาหกรรมจากโครงสร้างการผลิตที่มีลักษณะเฉพาะทางสูง

ประการที่สาม ต้นทุนการค้า (T_{ij}) ในสมการ (1) ถูกแยกออกเป็นสามองค์ประกอบเชิงโครงสร้างในสมการ (2) โดยเฉพาะ t_{ij} ซึ่งแทนต้นทุนการค้าแบบทวิภาคีที่ส่งผลโดยตรงต่อการค้าระหว่างสองประเทศ เช่น ระยะทาง ภาษีศุลกากร ข้อตกลงทางการค้า หรือมาตรการคว่ำบาตร เป็นต้น ส่วน T_i และ T_j แทนต้นทุนการค้าแบบพหุภาคีของประเทศผู้ส่งออกและผู้นำเข้าตามลำดับ ซึ่งสะท้อนข้อเท็จจริงว่าการค้าระหว่างสองประเทศไม่ได้ขึ้นอยู่กับเพียงขนาดเศรษฐกิจหรือค่าต้นทุนทวิภาคีโดยตรงเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับต้นทุนการค้าระหว่างประเทศเหล่านั้นกับประเทศอื่น ๆ ทั้งหมดด้วย ดังนั้น ต้นทุนเหล่านี้จึงเรียกว่า “ต้นทุนการค้าแบบพหุภาคี” (*multilateral trade costs*)

เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น รูปที่ 4 พิจารณาสถานการณ์ที่สหรัฐฯและแคนาดาถูกย้ายไปอยู่บนดาวอังคาร แม้ว่าขนาดเศรษฐกิจของทั้งสองประเทศ (Y_i และ E_j) และต้นทุนการค้าแบบทวิภาคี t_{ij} จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่การค้าระหว่างสองประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เหตุผลคือ บนดาวอังคาร สหรัฐฯและแคนาดาจะถูกแยกออกจากประเทศอื่น ๆ มากขึ้น ทำให้ต้นทุนการค้ากับประเทศที่สามสูงขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง การค้าทวิภาคีขึ้นอยู่กับ “สภาพแวดล้อมทางการค้าโดยรวม” ไม่ใช่

[1] แบบจำลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยสำคัญของ Eaton and Kortum (2002) และ Anderson and van Wincoop (2003) ผู้อ่านที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Yotov et al. (2016).

เพียงต้นทุนระหว่างสองประเทศเท่านั้น ความแตกต่างนี้สะท้อนบทบาทของต้นทุนการค้าแบบพหุภาคี ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง ในขณะที่แบบจำลองแบบดั้งเดิมมักพิจารณาเฉพาะต้นทุนทวิภาคี แบบจำลองเชิงโครงสร้างจะคำนึงถึงต้นทุนกับประเทศอื่นทั้งหมดด้วย

สุดท้าย เมื่อเรานำข้อปรับปรุงที่ได้รับแรงบันดาลใจจากทฤษฎีเพิ่มเติมสองประการ เราจะได้ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้างร่วมสมัย ดังนี้

$$X_{ij,t}^k = \frac{Y_{i,t}^k E_{j,t}^k}{Y_t^k} \left(\frac{t_{ij,t}^k}{T_{j,t}^k T_{i,t}^k} \right)^{-\theta^k}, \qquad \forall\, i,j,t,k. \tag{3}$$

ประการแรก แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสามารถประยุกต์ใช้ได้กับข้อมูลหลาย ระดับ ไม่ ว่า จะ เป็น ระดับ สินค้า อุตสาหกรรม ภาค เศรษฐกิจ หรือ ทั้ง ระบบ เศรษฐกิจ ผ่าน ดัชนี k ใน สมการ (3) ซึ่งใช้ ระบุ สินค้า อุตสาหกรรม หรือภาคเศรษฐกิจที่กำลังพิจารณา ประการที่สอง แบบจำลอง สามารถ ขยาย ให้ ครอบคลุม มิติ เวลา โดย การ เพิ่ม ดัชนี เวลา t ซึ่งสะท้อนว่าตัวแปรทั้งหมดในสมการ (3) ไม่ว่าจะเป็นมูลค่าการค้า ตัวแปร ขนาด เศรษฐกิจ หรือ ต้นทุน การ ค้า สามารถ เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลาได้ การเพิ่มมิติเวลานี้ยังช่วยให้แบบจำลองสอดคล้องกับ ทฤษฎี การ ค้า ที่ มี พลวัต เช่น กรณี ที่ การ เปิด เสรี ทางการ ค้า อาจ นำไปสู่การสะสมของปัจจัยการผลิตในบางพื้นที่ หากนำดัชนีหน่วย k และดัชนีเวลา t ออก สมการ (3) จะกลับไปมีรูปเหมือนกับสมการ (2) ประการสุดท้าย แบบ จำลอง แรงโน้มถ่วง ยังชี้ให้เห็นว่า สมการนี้สามารถใช้ได้ไม่เฉพาะกับการค้าระหว่างประเทศ (กรณี $i \neq j$) เท่านั้น แต่ยังใช้ได้กับการค้าภายในประเทศ (กรณี $i = j$) อีกด้วย

รูปที่ 4: ต้นทุนการค้าพหุภาคี

ที่มา: ผู้เขียน โดยได้รับแรงบันดาลใจจาก Krugman (1995).

2.2. นัยทางทฤษฎีต่อการประยุกต์ใช้และการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วง

รากฐานทางทฤษฎีของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อทั้งความสำเร็จเชิงประจักษ์ของแบบจำลอง และการกำหนดรูปแบบทางเศรษฐมิติที่ถูกต้องเหมาะสม ในส่วนนี้จะอธิบายความสำคัญของนัยทางทฤษฎีหลัก ๆ

ต้นทุนการค้าแบบพหุภาคี (Multilateral Trade Costs) ต้นทุนการค้าแบบพหุภาคีมีนัยสำคัญสองประการต่อการวัดเชิงปริมาณของผลกระทบของนโยบายการค้า ประการแรก หากต้นทุนการค้าแบบพหุภาคีไม่ได้รับการควบคุมอย่างเหมาะสมในแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงประจักษ์ แบบจำลองจะมีแนวโน้มทำนายการค้าของประเทศที่มีลักษณะโดดเดี่ยวต่ำเกินจริง (under-predict) และทำนายการค้าของประเทศที่รายล้อมด้วยคู่ค้าจำนวนมากสูงเกินจริง (over-predict) เช่น กลุ่มประเทศในยุโรป ประการที่สอง ต้นทุนการค้าแบบพหุภาคีสะท้อนถึงความสามารถในการเบี่ยงเบนการค้า (trade diversion) หรือความง่ายที่ประเทศหนึ่งจะหันไปค้ากับประเทศอื่นเมื่อถูกจำกัดการค้า ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินผลกระทบของนโยบายการค้าในยุคปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น หนึ่งในสาเหตุสำคัญที่มาตรการคว่ำบาตรต่อรัสเซียภายหลังการรุกรานยูเครนไม่ได้มีผลมากนัก คือ รัสเซียสามารถเบี่ยงเบนการค้าของตนไปยังประเทศที่ไม่ได้เข้าร่วมการคว่ำบาตร เช่น จีน อินเดีย และตุรกี ผลลัพธ์เช่นนี้สามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิดของต้นทุนการค้าแบบพหุภาคี อีกตัวอย่างหนึ่ง คือ ภาษีศุลกากรที่สหรัฐฯเก็บจากแคนาดาในปี ค.ศ. 2025 ส่งผลกระทบต่อแคนาดาอย่างมาก เนื่องจากแคนาดามีตลาดทางเลือกค่อนข้างจำกัด

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงในระดับแยกย่อย (Disaggregated Gravity) ในทางทฤษฎี แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสามารถใช้ได้ในทุกระดับของจัดรวมข้อมูล ตั้งแต่ระดับสินค้าแต่ละชนิดไปจนถึงระดับรวมของเศรษฐกิจทั้งหมด นัยสำคัญของ

คุณสมบัตินี้คือ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงประจักษ์มีความยืดหยุ่นสูง และสามารถปรับใช้ให้เหมาะสมกับคำถามวิจัยที่หลากหลาย เช่น การวิเคราะห์เฉพาะสินค้าบางประเภท อุตสาหกรรมหนึ่งๆ หรือภาคเศรษฐกิจหนึ่งๆ รวมถึงการเปรียบเทียบระหว่างสินค้าและบริการในภาพรวม ความสามารถในการแยกวิเคราะห์กระแสการค้าของแต่ละอุตสาหกรรมหรือภาคเศรษฐกิจมีความสำคัญ เนื่องจากต้นทุนการค้า (เช่น ต้นทุนการขนส่ง) มักแตกต่างกันระหว่างภาคต่างๆ และนโยบายการค้าหลายประเภท (เช่น ภาษีศุลกากร) ก็มักถูกกำหนดและบังคับใช้ในระดับที่แยกย่อยเช่นกัน แม้แต่นโยบายที่ดำเนินการในระดับรวม เช่น การห้ามค้าขายโดยสมบูรณ์ (trade embargo) ก็อาจส่งผลกระทบที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างสินค้า อุตสาหกรรม หรือภาคเศรษฐกิจ ดังนั้น การใช้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงในระดับแยกรายละเอียดจึงมักเหมาะสมกว่า และทฤษฎีแรงโน้มถ่วงก็ให้ทั้งเหตุผลสนับสนุนและแนวทางที่ชัดเจนสำหรับการวิเคราะห์ในลักษณะนี้

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time-varying Gravity) มิติของเวลาในแบบจำลองแรงโน้มถ่วงมีนัยสำคัญเชิงประจักษ์หลายประการ ประการแรก การเพิ่มจำนวนปีของข้อมูลในแบบจำลองจะช่วยเพิ่มความแม่นยำของการวิเคราะห์ ประการที่สอง ดังที่จะอธิบายในหมวดถัดไป การใช้ข้อมูลพาเนล (panel data) ช่วยให้สามารถสร้างแบบจำลองที่ยืดหยุ่นและครอบคลุมมากขึ้น และสามารถจัดการกับต้นทุนการค้าแบบทวิภาคีที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (เช่น ระยะทาง) ได้อย่างสะดวกภายใต้แบบจำลองแรงโน้มถ่วง ประการที่สาม การใช้ข้อมูลช่วงยาวยังช่วยให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงและการปรับตัวของต้นทุนการค้าแบบทวิภาคี รวมถึงผลของนโยบายต่าง ๆ ตามกาลเวลาได้ ตัวอย่างเช่น ผลของข้อตกลงการค้าเสรีมักไม่เกิดขึ้นทันที และการวิเคราะห์การปรับตัวของมูลค่าการค้าหลังการจัดตั้งข้อตกลงดังกล่าวสามารถให้นัยสำคัญที่มีคุณค่าสำหรับการกำหนดนโยบาย นอกจากนี้ ผลของข้อตกลงการค้าเสรีในช่วงทศวรรษ 1990 อาจแตกต่างอย่างมากจากผลของข้อตกลงในยุคปัจจุบัน ซึ่งความแตกต่างเหล่านี้ไม่สามารถสังเกตได้เลยหากไม่มีข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา

ผลผลิต (Output) หรือ การใช้จ่าย (Expenditure) ความแตกต่างระหว่างมูลค่าผลผลิตและมูลค่าการใช้จ่าย มีนัยสำคัญหลายประการในเชิงประจักษ์ ประการแรก หากต้นทุนการค้าเป็นแบบสมมาตร (เช่น ระยะทางระหว่างสองประเทศ) แต่แบบจำลองไม่ได้แยกความแตกต่างระหว่างมูลค่าผลผลิตกับมูลค่าการใช้จ่าย แบบจำลองแรงโน้มถ่วงจะให้ผลการคาดการณ์ที่ไม่ดีนัก เพราะมันจะทำนายว่าการค้าระหว่างประเทศคู่ค้าทั้งสองฝั่งมีขนาดเท่ากันเสมอ ประการที่สอง การแยกความแตกต่างระหว่างผลผลิตและการใช้จ่ายมีความสำคัญยิ่งในระดับข้อมูลที่แยกย่อยรายละเอียด ซึ่งความแตกต่างระหว่างการผลิตและการบริโภคของแต่ละประเทศจะเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น ประการที่สาม แม้ในระดับข้อมูลรวม ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ก็ไม่ใช่ตัวแทนที่ดีที่สุดของ “ขนาดทางเศรษฐกิจ” ในแบบจำลองแรงโน้มถ่วง เหตุผลไม่เพียงเพราะทฤษฎีชี้ว่าควรคำนึงถึงความไม่สมดุลทางการค้าเท่านั้น แต่ยังเพราะ GDP ถูกวัดในรูปของ “มูลค่าเพิ่ม” (value added) ในขณะที่กระแสการค้าถูกวัดในรูปของ “มูลค่ารวม” (gross trade flows) ทำให้เกิดความไม่สอดคล้องกันในการวัด อย่างไรก็ตาม ดังที่จะได้แสดงในหมวดถัดไป ปัญหานี้สามารถจัดการได้ด้วยเทคนิคทางเศรษฐมิติที่ช่วยควบคุมตัวแปรด้านขนาดเศรษฐกิจ โดยไม่จำเป็นต้องกังวลเกี่ยวกับความซับซ้อนในการวัดหรือข้อจำกัดของข้อมูลเพิ่มเติม

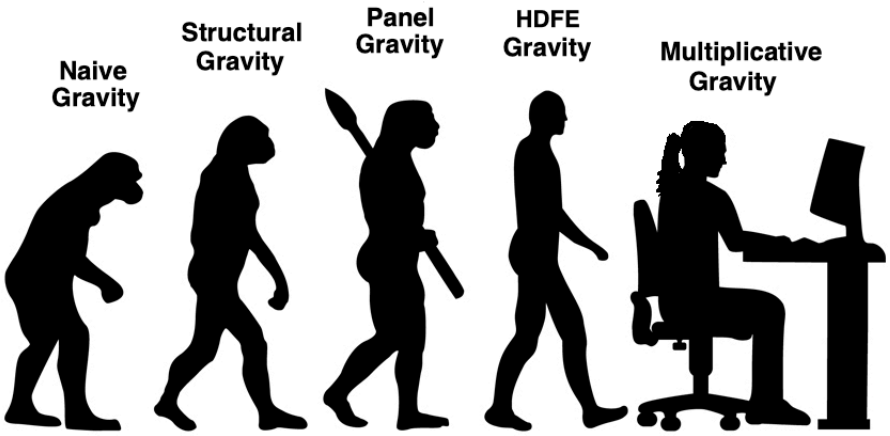
การค้าภายในประเทศ (Domestic Trade) ทฤษฎีการค้าระหว่างประเทศแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสามารถใช้ได้กับ “การค้าภายในประเทศ” เช่นเดียวกับ “การค้าระหว่างประเทศ” นอกจากนี้ การนำข้อมูลการค้าภายในประเทศมาใช้ยังให้ประโยชน์ที่สำคัญหลายประการในการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วง เช่น ช่วยให้สามารถระบุผลของการเบี่ยงเบนทางการค้า (trade diversion) ที่เกิดจากข้อตกลงการค้าระหว่างประเทศต่อประเทศที่ไม่ได้เข้าร่วมข้อตกลงนั้นได้ รวมถึงผลกระทบของมาตรการคว่ำบาตรที่มีผลข้ามพรมแดน และผลของนโยบายการค้าที่ไม่เลือกปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล การประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงส่วนใหญ่ในปัจจุบันยังคงอาศัยข้อมูลการค้าระหว่างประเทศเพียงอย่างเดียว และการใช้ข้อมูลการค้าภายในประเทศในงานวิเคราะห์แรงโน้มถ่วงยังไม่ถือเป็นแนวปฏิบัติมาตรฐาน ดังนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับวรรณกรรมแรงโน้มถ่วงส่วนใหญ่ บทความนี้จึงจะมุ่งเน้นเฉพาะการค้าระหว่างประเทศเท่านั้น

3. แบบจำลองแรงโน้มถ่วงพื้นฐานสู่แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสมัยใหม่

ความสำเร็จอันโดดเด่นของแบบจำลองแรงโน้มถ่วง เกิดจากความสามารถในการพยากรณ์ที่ยอดเยี่ยม และความยืดหยุ่นสูงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายวัตถุประสงค์ เป้าหมายของส่วนนี้คือการแปลงแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงประจักษ์แบบดั้งเดิมให้เป็นแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงเศรษฐมิติแบบสมัยใหม่ ซึ่งสามารถใช้ในการประมาณค่าผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อกระแสการค้าได้ การวิเคราะห์ในส่วนนี้อาศัยความรู้พื้นฐานทางเศรษฐมิติ เช่น วิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares: OLS) และแบบจำลองค่าคงที่ (Fixed Effects) ดังนั้น เนื้อหานี้จึงเหมาะสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่เคยเรียนวิชาเศรษฐมิติมาแล้ว นอกจากนี้ เนื้อหานี้ยังเป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษาที่กำลังเรียนวิชาเศรษฐมิติ วิชาอภิปรายทางเศรษฐศาสตร์ (seminar) หรือผู้ที่มีแผนจะเขียนวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี หรือทำโครงการวิจัยอิสระของตนเองด้วย

ในส่วนนี้ เราจะใช้พื้นฐานทางทฤษฎีของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงร่วมกับความรู้ที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ เพื่ออธิบายพัฒนาการของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงเศรษฐมิติ ตามลำดับขั้นตอนทั้ง 5 ขั้น ดังที่แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งสรุปวิวัฒนาการของการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา[2]

รูปที่ 5: วิวัฒนาการของการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วง



ที่มา: ผู้เขียน

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบดั้งเดิม (Naive Gravity) เช่นเดียวกับในส่วนก่อนหน้า ที่เราได้แปลงแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบดั้งเดิมให้เป็นแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง ในที่นี้เราจะเริ่มจากการตั้งสมการประมาณค่า (estimation equation) สำหรับแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบดั้งเดิม โดยดำเนินการตามขั้นตอนพื้นฐานสามขั้น ดังนี้
ขั้นแรก พิจารณาการแปลงสมการ (1) ให้อยู่ในรูปเชิงลอการิทึมเชิงเส้น (log-linear form) ดังนี้

$$\ln(X_{ij}) = \ln(\tilde{G}) - \theta \ln(T_{ij}) + \ln(Y_i) + \ln(Y_j). \tag{4}$$

ขั้นที่สอง เราแปลงสมการ (4) ให้เป็นแบบจำลองเศรษฐมิติโดยแทนค่าตัวแปรอิสระด้วยตัวแปรตัวแทนดังนี้ ขนาดเศรษฐกิจของประเทศผู้ส่งออกและผู้นำเข้าแทนด้วย GDP ของแต่ละประเทศ (GDP_i และ GDP_j) ส่วนต้นทุนการค้าแบบทวิภาคีแทนด้วยระยะทางระหว่างประเทศ ($DIST_{ij}$) และการมีข้อตกลงการค้าเสรีระดับภูมิภาค (RTA_{ij}) ระยะทางและ RTA เป็นตัวแปรตัวแทนของต้นทุนการค้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวรรณกรรมแบบจำลองแรงโน้มถ่วง[3] การใช้ตัวแปรทั้งสอง

[2] ผู้อ่านที่สนใจสามารถศึกษารายละเอียดเบื้องหลังและการอภิปรายเชิงลึกเกี่ยวกับข้อเสนอแนะในการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงได้ใน Larch et al. (2025)

[3] ในแบบฝึกหัดท้ายบท จะมีการแนะนำตัวแปรตัวแทนของต้นทุนการค้า (trade cost proxies) และตัวแปรเชิงนโยบายอื่น ๆ เพิ่มเติม

นี้ยังมีประโยชน์ในเชิงการสอน เพราะระยะทางเป็นตัวแปรเชิงต่อเนื่อง ขณะที่ RTA เป็นตัวแปรดัมมี่ซึ่งมีค่าศูนย์หรือหนึ่ง โดยตัวแปร RTA จะมีค่าเท่ากับหนึ่งเมื่อสองประเทศมีข้อตกลงการค้าเสรีที่มีผลบังคับใช้ในปีนั้น และจะมีค่าเท่ากับศูนย์ในกรณีอื่น ขั้นต่อมา เราเพิ่มค่าคงที่ (β_0) ซึ่งสอดคล้องกับค่าคงที่ของแบบจำลองแรงโน้มถ่วง ($\tilde{G}$) และเพิ่มเทอมความคลาดเคลื่อน (ϵ_{ij}) ทำให้ได้สมการประมาณค่าแรงโน้มถ่วงพื้นฐานดังนี้

$$\ln(TRADE_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij} + \beta_2 \ln(DIST_{ij}) + \beta_3 \ln(GDP_i) + \beta_4 \ln(GDP_j) + \epsilon_{ij}. \tag{5}$$

สมการ (5) เป็นรูปแบบของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงเศรษฐมิติที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถประมาณค่าได้ด้วยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares: OLS) การตีความผลประมาณค่าของสัมประสิทธิ์สามารถทำได้ดังนี้ สำหรับตัวแปรต่อเนื่อง (เช่น ระยะทาง และ GDP) สัมประสิทธิ์สามารถตีความเป็นค่าความยืดหยุ่นได้ ตัวอย่างเช่น หากค่าสัมประสิทธิ์ของระยะทางมีค่า $\hat{\beta}_2 = -0.8$ จะหมายความว่า ภายใต้เงื่อนไขอื่นคงที่ (*ceteris paribus*) การเพิ่มขึ้นของระยะทางระหว่างสองประเทศ 1% จะทำให้การค้าทวิภาคีลดลงประมาณ 0.8% สำหรับตัวแปรตัวบ่งชี้ (indicator variable) เช่น ตัวแปร RTA ผลกระทบสามารถคำนวณได้จากสูตร $[\exp(\beta_1) - 1] \times 100$. เช่น หากค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ RTA เท่ากับ $\hat{\beta}_1 = 0.5$ จะตีความได้ว่า การมีข้อตกลงการค้าเสรีในช่วงเวลาที่ศึกษา ทำให้มูลค่าการค้าระหว่างประเทศสมาชิกเพิ่มขึ้นประมาณ 65% ($[\exp(0.5) - 1] \times 100 = 64.87$) ภายใต้เงื่อนไขอื่นคงที่ (*ceteris paribus*).

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง (Structural Gravity) ขั้นต่อมา เราปรับปรุงรูปแบบการประมาณค่าทางเศรษฐมิติให้สอดคล้องกับนัยทางทฤษฎีจากสมการ (2) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เราจำเป็นต้องคำนึงถึงประเด็นทางทฤษฎีสองประการ ประการแรก คือ การสะท้อนมูลค่าของผลผลิตและการใช้จ่าย และ ประการที่สอง คือ การคำนึงถึงต้นทุนการค้าพหุภาคี โดยหลักการแล้ว เราสามารถจัดการกับประเด็นทั้งสองนี้ได้โดยตรงจากข้อมูลจริง อย่างไรก็ตาม วิธีการทางเศรษฐมิติที่ทั้งง่ายกว่า สอดคล้องกับทฤษฎีมากกว่า และครอบคลุมได้ครบถ้วนกว่า คือการใช้ค่าคงที่จำเพาะรายผู้ส่งออกและรายผู้นำเข้า (exporter and importer fixed effects) ซึ่งนำไปสู่สมการประมาณค่าดังต่อไปนี้

$$\ln(TRADE_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij} + \beta_2 \ln(DIST_{ij}) + \pi_i + \psi_j + \epsilon_{ij}. \tag{6}$$

ในที่นี้ π_i คือค่าคงที่จำเพาะรายประเทศผู้ส่งออก (exporter fixed effects) ซึ่งเป็นตัวแปรดัมมีที่มีค่าเท่ากับหนึ่งสำหรับประเทศผู้ส่งออกแต่ละประเทศในข้อมูล ส่วน ψ_j คือค่าคงที่จำเพาะรายประเทศผู้นำเข้า (importer fixed effects) ซึ่งเป็นตัวแปรดัมมีที่มีค่าเท่ากับหนึ่งสำหรับประเทศผู้นำเข้าแต่ละประเทศในข้อมูล ตัวอย่างเช่น หากข้อมูลมี 100 ประเทศ และแต่ละประเทศปรากฏทั้งในฐานะผู้ส่งออกและผู้นำเข้า เราจะมีค่าคงที่จำเพาะฝั่งผู้ส่งออก 100 ตัว และค่าคงที่จำเพาะฝั่งผู้นำเข้า 100 ตัว[4]

ข้อดีของการใช้ค่าคงที่จำเพาะเหล่านี้มีสองประการ ได้แก่ (1) สามารถควบคุมคุณลักษณะเฉพาะของผู้ส่งออกและผู้นำเข้าทั้งหมดได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ว่าจะเป็นคุณลักษณะที่สังเกตได้หรือไม่ได้ รวมถึงขนาดเศรษฐกิจและต้นทุนการค้าพหุภาคี ดังนั้นจึงช่วยลดปัญหาตัวแปรตกหล่น และไม่จำเป็นต้องรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมในมิติเหล่านี้ และ (2) ค่าคงที่จำเพาะสามารถสร้างและนำไปใช้ในการประมาณค่าเชิงประจักษ์ได้อย่างง่ายดายด้วยโปรแกรมสถิติมาตรฐาน ซึ่งเราจะสาธิตในส่วนถัดไป

ในทางกลับกัน ข้อเสียของการใช้ค่าคงที่จำเพาะคือ ไม่สามารถระบุผลกระทบของตัวแปรที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะของประเทศผู้ส่งออกหรือผู้นำเข้าได้ เนื่องจากตัวแปรเหล่านั้นจะมีความเป็นเส้นตรงสมบูรณ์กับค่าคงที่จำเพาะและถูกดูดกลืนเข้าไปในค่าคงที่ดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดนี้ไม่กระทบต่อวัตถุประสงค์ของเรา ซึ่งต้องการประมาณค่าผลกระทบของต้นทุนการค้าทวิภาคีและนโยบายต่าง ๆ เช่น ระยะทางและข้อตกลงการค้าเสรี (RTA)

[4]ในทางเทคนิค หนึ่งในค่าคงที่จำเพาะของฝั่งผู้ส่งออกและหนึ่งในค่าคงที่จำเพาะของฝั่งผู้นำเข้าจะถูกตัดออกเนื่องจากปัญหาความเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ (perfect collinearity) แต่การตัดออกนี้ไม่มีผลต่อค่าประมาณของตัวแปรอิสระที่เราสนใจ

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบพาเนล (Panel Gravity) ขั้นตอนถัดไปตรงไปตรงมา โดยการเพิ่มมิติของเวลาเข้าไปในแบบจำลองการประมาณค่าในสมการ (6) ผลลัพธ์คือ เทอมความคลาดเคลื่อนและตัวแปรทั้งหมด (ยกเว้นตัวแปรระยะทางซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา) จะมีตัวห้อยแสดงเวลา t ดังนี้:

$$\ln(TRADE_{ij,t}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij,t} + \beta_2 \ln(DIST_{ij}) + \pi_{i,t} + \psi_{j,t} + \epsilon_{ij,t}. \quad (7)$$

ดังที่ได้อธิบายไว้ในส่วนก่อนหน้า การเพิ่มมิติของเวลาในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐมิติของการค้าระหว่างประเทศนั้นสอดคล้องกับทฤษฎีการค้า และการใช้ข้อมูลจำนวนปีที่มากขึ้นยังช่วยเพิ่มความแม่นยำของการประมาณค่าในแบบจำลองอีกด้วย นอกจากนี้ การเพิ่มมิติของเวลายังทำให้สามารถวิเคราะห์การปรับตัวของการค้า ก่อนและหลังการมีผลบังคับใช้ของ RTA รวมถึงสามารถเปรียบเทียบผลกระทบของ RTA ที่ถูกลงนามในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เช่น RTA ในทศวรรษ 1990 กับ RTA ในทศวรรษ 2000 ได้อีกด้วย

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงที่มีค่าคงที่มิติสูง (HDFE Gravity) การใช้ข้อมูลพาเนลทำให้แบบจำลองสามารถใส่ค่าคงที่จำเพาะรายคู่ประเทศ (country-pair fixed effects: γ_{ij}) เนื่องจากแบบจำลองนี้ต้องจัดการกับค่าคงที่จำนวนมาก การกำหนดรูปแบบดังกล่าวจึงเรียกว่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงที่มีค่าคงที่มิติสูง (HDFE: High-Dimensional Fixed Effects) ค่าคงที่จำเพาะรายคู่ประเทศเป็นตัวแปรดัมมีที่มีค่าเท่ากับหนึ่งสำหรับคู่ประเทศแต่ละคู่ที่ปรากฏในข้อมูล และมีค่าเป็นศูนย์สำหรับคู่ประเทศอื่นๆ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบ HDFE สามารถเขียนได้ดังนี้:

$$\ln(TRADE_{ij,t}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij,t} + \gamma_{ij} + \pi_{i,t} + \psi_{j,t} + \epsilon_{ij,t}. \quad (8)$$

เช่นเดียวกับค่าคงที่จำเพาะของประเทศผู้ส่งออกและผู้นำเข้า ค่าคงที่จำเพาะรายคู่ประเทศจะควบคุมต้นทุนการค้าทวิภาคีทั้งหมดที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้อย่างสมบูรณ์ เช่น ระยะทางหรือการมีพรมแดนติดกันระหว่างประเทศ ข้อเสียของการใช้ค่าคงที่จำเพาะรายคู่ประเทศคือ ไม่สามารถประมาณค่าผลกระทบของตัวแปรทวิภาคีที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ เช่น ระยะทางหรือปัจจัยทวิภาคีอื่น ๆ ที่คงที่ตามเวลา ดังนั้น ในสมการ (8) ตัวแปร $\ln(DIST_{ij})$ จึงไม่ปรากฏอยู่ในแบบจำลอง เนื่องจากถูกดูดกลืนโดยค่าคงที่จำเพาะรายคู่ประเทศแล้ว อย่างไรก็ตาม หากวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์คือการประมาณค่าผลกระทบของนโยบายที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น ภาษีศุลกากร ข้อตกลงการค้าเสรี (RTA) หรือมาตรการคว่ำบาตร การใช้ค่าคงที่จำเพาะรายคู่ประเทศในการประมาณแบบจำลองแรงโน้มถ่วงถือเป็นแนวทางที่แนะนำอย่างยิ่ง เนื่องจากช่วยควบคุมตัวแปรที่อาจตกหล่นจำนวนมากได้ พร้อมทั้งลดความจำเป็นในการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในหลายมิติ และยังช่วยเพิ่มความสามารถในการพยากรณ์ของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงอย่างมีนัยสำคัญ

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบคูณ (Multiplicative Gravity) ในขั้นตอนสุดท้าย เราจะพิจารณาข้อจำกัดของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงที่ถูกทำให้อยู่ในรูปเชิงเส้นด้วยลอการิทึม (log-linearized gravity model) กล่าวคือ เมื่อมูลค่าการค้าทวิภาคีมีค่าเป็นศูนย์ ข้อมูลดังกล่าวจะไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าได้ เนื่องจากค่าลอการิทึมของศูนย์ไม่มีนิยาม วิธีแก้ปัญหาที่เรียบง่ายในแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงเศรษฐมิติคือ การยกกำลังเอ็กซ์โปเนนเชียลให้กับทั้งสองข้างของสมการ ซึ่ง จะนำไปสู่สมการต่อไปนี้:

$$TRADE_{ij,t} = \exp\left[\beta_0 + \beta_1 RTA_{ij,t} + \gamma_{ij} + \pi_{i,t} + \psi_{j,t}\right] \times \varepsilon_{ij,t}. \quad (9)$$

แบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบคูณยังมีคุณลักษณะเพิ่มเติมอีกสองประการที่ทำให้แบบจำลองมีความน่าสนใจมากขึ้น ประการแรก แบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบคูณสามารถประมาณค่าได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว โดยใช้คำสั่งที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งมีอยู่ในโปรแกรมสถิติมาตรฐาน ประการที่สอง การตีความค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบคูณสามารถทำได้ในลักษณะเดียวกับแบบจำลองเชิงเส้นลอการิทึมที่ประมาณค่าด้วย OLS

สมการ (9) แสดงแบบจำลองแรงโน้มถ่วงสมัยใหม่ ซึ่งนักวิชาการและนักวิเคราะห์นโยบายใช้ในการประมาณค่าผลกระทบของนโยบายประเภทต่างๆ กล่องที่ 5 สรุปความเชื่อมโยงระหว่างนัยทางทฤษฎีของแบบจำลองแรงโน้มถ่วง และการนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าเชิงประจักษ์

กล่องที่ 5. จากทฤษฎีสู่การประมาณค่า

นัยทางทฤษฎี	การนำไปใช้ในเชิงประจักษ์
การควบคุมผลผลิตเทียบกับการใช้จ่าย	exporter(-time) fixed effects และ importer(-time) fixed effects
การควบคุมต้นทุนการค้าพหุภาคี	exporter(-time) fixed effects และ importer(-time) fixed effects
ต้นทุนการค้าทวิภาคีที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	exporter-importer fixed effects
ต้นทุนการค้าทวิภาคีที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	ข้อมูลพาเนล หรือ ตัวแปรนโยบายที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
มูลค่าการค้าเป็นศูนย์	ตัวประมาณค่า PPML ในแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบคูณ

สิ่งหนึ่งที่ควรระลึกไว้คือ แบบจำลองแรงโน้มถ่วงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างสอดคล้องกับทฤษฎี ในทุกระดับของการรวมข้อมูล (aggregation level) ดังนั้น สมการ (9) จึงสามารถนำไปประมาณค่าได้โดยใช้ข้อมูลในระดับสินค้า ระดับอุตสาหกรรม ระดับภาคเศรษฐกิจ หรือแม้กระทั่งข้อมูลในระดับประเทศโดยรวม สิ่งที่สำคัญเป็นพิเศษคือ สมการ (9) สามารถนำไปใช้และประมาณค่าได้อย่างง่ายดาย ด้วยซอฟต์แวร์ทางสถิติมาตรฐานทั่วไป

4. ภาคปฏิบัติแบบจำลองแรงโน้มถ่วง

ในส่วนนี้ เราจะทำการฝึกภาคปฏิบัติ โดยใช้สมการประมาณค่าที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ตามลำดับ นอกจากจะประมาณค่าผลกระทบของระยะทางและข้อตกลงการค้าเสรี (RTA) แล้ว เรายังจะได้ลองแยกการประมาณค่าผลกระทบของสหภาพยุโรป (EU) ออกจากผลกระทบของ RTA อื่นๆ ด้วย เพื่อจุดประสงค์นี้ เราจึงเพิ่มตัวแปรตัวบ่งชี้ (ตัวแปรดัมมี) $EU_{ij,t}$ เข้าไปในสมการประมาณค่า โดยตัวแปรดัมมีนี้จะมีค่าเท่ากับ 1 หากประเทศ i และประเทศ j เป็นสมาชิกของสหภาพยุโรปในปี t และจะมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ ดังนั้น ตัวแปร RTA จะรวมข้อตกลงการค้าเสรีระดับภูมิภาคอื่น ๆ ทั้งหมด แต่จะไม่รวมสหภาพยุโรป ซึ่งทำให้เราสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของทั้งสองกรณีแยกจากกันได้

มีเหตุผลสี่ประการที่ทำให้เราต้องแยก EU ออกจาก RTA อื่นๆ ประการแรก ผลกระทบของการเข้าร่วมสหภาพยุโรปต่อการค้า เป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจอย่างมากทั้งในทางวิชาการและเชิงนโยบาย ประการที่สอง คาดว่าผลกระทบของ EU ต่อการค้าจะมากกว่า ผลกระทบของ RTA อื่นๆ ประการที่สาม การแยก EU ออกจาก RTA อื่นๆ เป็นตัวอย่างหนึ่งของวิธีการระบุและแยกผลกระทบของข้อตกลงการค้าที่แตกต่างกัน ประการที่สี่ EU เป็นตัวอย่างของกลุ่มประเทศที่มีระดับการบูรณาการทางเศรษฐกิจสูง ดังนั้น ต้นทุนการค้าพหุภาคีอาจจะมีบทบาทสำคัญในการประมาณค่าผลกระทบของ EU

การวิเคราะห์เชิงประจักษ์ในบทนี้ จะใช้ซอฟต์แวร์ Stata โดยจะอธิบายคำสั่งทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับการประมาณค่า รวมถึงการวิเคราะห์และการตีความผลลัพธ์ที่ได้ เว็บไซต์ https://yotoyotov.com/Gravity_Undergrads.html เตรียมไฟล์ "do" ซึ่งรวบรวมคำสั่งทั้งหมดและชุดข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าให้แล้ว สิ่งสำคัญที่ควรเน้นคือ วิธีการประมาณค่าที่นำเสนอในที่นี้ สามารถนำไปใช้ได้อย่างง่ายดายในซอฟต์แวร์สถิติมาตรฐานอื่นๆ เช่น R (ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ฟรี) นอกจากนี้ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน เว็บไซต์ข้างต้นยังได้เผยแพร่ข้อมูลและโค้ดสำหรับ R ไว้ด้วย

ข้อมูลแรงโน้มถ่วง (The Gravity Data) ผู้เขียนได้จัดทำฐานข้อมูล *"Gravity for Undergraduates (GU)"* ซึ่งรวบรวมข้อมูลการค้า นโยบาย และตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองแรงโน้มถ่วงที่ทันสมัยที่สุด (ณ เดือนมีนาคม ค.ศ. 2025) และเป็น

ข้อมูลที่นักวิชาการและผู้กำหนดนโยบายใช้ในการวิเคราะห์จริง ดังนั้น ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงประจักษ์ในส่วนนี้รวมถึงในแบบฝึกหัดท้ายบท จึงเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์เชิงนโยบายและโครงการวิจัย

ชุดข้อมูล GU ประกอบด้วยข้อมูลการค้าและตัวแปรแรงโน้มถ่วงในระดับรวมสำหรับประเทศผู้ส่งออกรายใหญ่ที่สุด 100 ประเทศของโลก ซึ่งครอบคลุมร้อยละ 98.9 ของมูลค่าการส่งออกโลก ร้อยละ 97.7 ของมูลค่าการนำเข้าโลก และร้อยละ 98.3 ของ GDP โลก ในช่วงปี ค.ศ. 1990--2023 รายการด้านล่างแสดงตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ในส่วนนี้ พร้อมคำอธิบายโดยย่อและแหล่งที่มาของข้อมูล ส่วนตัวแปรอื่น ๆ จะกล่าวถึงในส่วนแบบฝึกหัดท้ายบท

Exporter	รหัสประเทศแบบ ISO ของประเทศผู้ส่งออก i
Importer	รหัสประเทศแบบ ISO ของประเทศผู้นำเข้า j
Year	ปี t ตั้งแต่ ค.ศ. 1990 ถึง 2023
Trade	มูลค่าการค้าทวิภาคีรวมระหว่างประเทศ i และ j ในปี t (หน่วย: ดอลลาร์สหรัฐในราคาปัจจุบัน). แหล่งที่มา: ฐานข้อมูล UN COMTRADE, https://comtradeplus.un.org/.
Distance	ระยะทางระหว่างประเทศ i และ j ที่ถ่วงน้ำหนักด้วยประชากร (กิโลเมตร) แหล่งที่มา: ฐานข้อมูล USITC DGD, https://www.usitc.gov/data/gravity/dgd.htm.
RTA	ตัวแปรตัวบ่งชี้การมีอยู่ของข้อตกลงการค้าเสรีระดับภูมิภาค ระหว่าง i และ j ในปี t. แหล่งที่มา: ฐานข้อมูลของ Mario Larch, https://www.ewf.uni-bayreuth.de/en/research/RTA-data/.
EU	ตัวแปรดัมมี่ว่าประเทศ i และ j เป็นสมาชิกของสหภาพยุโรป (EU) พร้อมกันในปี t แหล่งที่มา: ผู้เขียน รวบรวมจากข้อมูลของคณะกรรมาธิการยุโรป
GDP_Exporter	GDP ของประเทศผู้ส่งออก i ในปี t (หน่วย: ดอลลาร์สหรัฐในราคาปัจจุบัน) แหล่งที่มา: ฐานข้อมูล World Bank WDI database, https://datacatalog.worldbank.org/home.
GDP_Importer	GDP ของประเทศผู้นำเข้า j ในปี t (หน่วย: ดอลลาร์สหรัฐในราคาปัจจุบัน) แหล่งที่มา: ฐานข้อมูล World Bank WDI database, https://datacatalog.worldbank.org/home.

รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างข้อมูลบางส่วนจากฐานข้อมูล GU สำหรับสามประเทศ ได้แก่ แคนาดา เม็กซิโก และสหรัฐฯ และสามปี คือ ค.ศ. 1993-1995 ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการค้าระหว่างสามประเทศนี้มีมูลค่าสูง มีลักษณะไม่สมมาตร และเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ตามโครงสร้างของข้อมูล ระยะทางระหว่างแต่ละคู่ประเทศมีค่าเท่ากันทั้งสองทิศทาง (symmetric) ตัวแปร RTA มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับการค้าระหว่างแคนาดากับสหรัฐฯในทุกปี เนื่องจากข้อตกลงการค้าระหว่างแคนาดาและสหรัฐฯในปี ค.ศ. 1989 ในขณะที่ตัวแปร RTA สำหรับคู่ประเทศสหรัฐฯ-เม็กซิโก และแคนาดา-เม็กซิโก เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ในปี ค.ศ. 1994 อันเป็นผลจากข้อตกลงการค้าเสรีอเมริกาเหนือ (North American Free Trade Agreement: NAFTA)

ตัวแปร EU มีค่าเป็นศูนย์ตลอดเนื่องจากไม่มีประเทศใดในสามประเทศนี้เป็นสมาชิกของสหภาพยุโรป ส่วนตัวแปร GDP ใช้สะท้อนความแตกต่างของขนาดเศรษฐกิจระหว่างประเทศ ท้ายที่สุด แม้ว่าผู้อ่านจะไม่จำเป็นต้องสร้างและเพิ่มค่าคงที่จำเพาะ (fixed effects) เหล่านี้ลงในข้อมูลโดยตรง แต่รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างค่าคงที่จำเพาะสี่รายการ ได้แก่ `CAN_exp_1993' ซึ่งเป็นค่าคงที่จำเพาะของผู้ส่งออกสำหรับแคนาดาในปี ค.ศ. 1993, `USA_imp_1995' ซึ่งเป็นค่าคงที่จำเพาะของผู้นำเข้าสำหรับสหรัฐฯในปี ค.ศ. 1995, `CAN_MEX' ซึ่งเป็นค่าคงที่จำเพาะของคู่ประเทศสำหรับการส่งออกจากแคนาดาไปยังเม็กซิโก และ `MEX_CAN' ซึ่งเป็นค่าคงที่จำเพาะของคู่ประเทศสำหรับการส่งออกจากเม็กซิโกไปยังแคนาดา

รูปที่ 6 แสดงข้อมูลตัวอย่างจำนวน 18 ค่า เนื่องจากมี 3 ประเทศ และแต่ละประเทศมีการส่งออกไปยัง และนำเข้าจากอีก 2 ประเทศ ในแต่ละปีของช่วงเวลา 3 ปี กล่าวคือ $(3 \text{ ประเทศ}) \times (2 \text{ ประเทศคู่ค้า}) \times (3 \text{ ปี}) = 18$ ดังนั้น หากมีข้อมูลสำหรับทุกคู่ประเทศและทุกปี จำนวนค่าการสังเกตในฐานข้อมูล GU จะเท่ากับ $100 \times 99 \times 34 = 336{,}600$ อย่างไรก็ตาม ชุดข้อมูล GU ไม่ได้เป็นข้อมูลพาเนลที่สมบูรณ์ (fully balanced panel) เนื่องจากบางประเทศ เช่น ประเทศในอดีตสหภาพโซเวียต ยังไม่

รูปที่ 6: โครงสร้างของข้อมูลสำหรับแบบจำลองแรงโน้มถ่วง

	Exporter	Importer	Year	Trade	Distance	RTA	EU	GDP_Exporter	GDP_Importer	CAN_exp_1993	USA_imp_1995	CAN_MEX	MEX_CAN
1	CAN	MEX	1993	9.882e+08	3472.085	0	0	5.791e+11	5.302e+11	1	0	1	0
2	CAN	MEX	1994	1.620e+09	3472.085	1	0	5.799e+11	5.536e+11	0	0	1	0
3	CAN	MEX	1995	1.374e+09	3472.085	1	0	6.060e+11	3.802e+11	0	0	1	0
4	CAN	USA	1993	1.136e+11	2134.945	1	0	5.791e+11	6.859e+12	1	0	0	0
5	CAN	USA	1994	1.319e+11	2134.945	1	0	5.799e+11	7.287e+12	0	0	0	0
6	CAN	USA	1995	1.483e+11	2134.945	1	0	6.060e+11	7.640e+12	0	1	0	0
7	MEX	CAN	1993	2.785e+09	3472.085	0	0	5.302e+11	5.791e+11	0	0	0	1
8	MEX	CAN	1994	3.274e+09	3472.085	1	0	5.536e+11	5.799e+11	0	0	0	1
9	MEX	CAN	1995	3.901e+09	3472.085	1	0	3.802e+11	6.060e+11	0	0	0	1
10	MEX	USA	1993	4.072e+10	2492.907	0	0	5.302e+11	6.859e+12	0	0	0	0
11	MEX	USA	1994	5.033e+10	2492.907	1	0	5.536e+11	7.287e+12	0	0	0	0
12	MEX	USA	1995	6.275e+10	2492.907	1	0	3.802e+11	7.640e+12	0	1	0	0
13	USA	CAN	1993	8.804e+10	2134.945	1	0	6.859e+12	5.791e+11	0	0	0	0
14	USA	CAN	1994	1.002e+11	2134.945	1	0	7.287e+12	5.799e+11	0	0	0	0
15	USA	CAN	1995	1.098e+11	2134.945	1	0	7.640e+12	6.060e+11	0	0	0	0
16	USA	MEX	1993	4.832e+10	2492.907	0	0	6.859e+12	5.302e+11	0	0	0	0
17	USA	MEX	1994	5.481e+10	2492.907	1	0	7.287e+12	5.536e+11	0	0	0	0
18	USA	MEX	1995	5.397e+10	2492.907	1	0	7.640e+12	3.802e+11	0	0	0	0

ที่มา: ฐานข้อมูล Gravity for Undergraduates

ได้เป็นรัฐเอกราชในช่วงต้นทศวรรษ 1990 ทำให้ข้อมูลการค้าและ GDP ของประเทศเหล่านั้นมีเฉพาะในปีหลังๆ เท่านั้น ดังนั้น จำนวนตัวอย่างในชุดข้อมูล GU มีเพียง 320,920 ค่าเท่านั้น

ก่อนที่จะดำเนินการวิเคราะห์เชิงเศรษฐมิติ เราจำเป็นต้องแปลงตัวแปรบางตัว (ได้แก่ ตัวแปรการค้า ระยะทาง และ GDP) ให้อยู่ในรูปของลอการิทึม ซึ่งสามารถทำได้ด้วยโค้ด Stata ดังต่อไปนี้

```
generate ln_trade=ln(Trade)
generate ln_dist=ln(Distance)
generate ln_gdp_exp=ln(GDP_Exporter)
generate ln_gdp_imp=ln(GDP_Importer)
```

การประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบดั้งเดิม (Naive Gravity) คำสั่ง Stata ต่อไปนี้ใช้เพื่อประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงในรูปแบบที่ถือว่า ``ดั้งเดิม" (แต่ก็เป็นแบบ ``อย่างง่าย") โดยอาศัยการกำหนดแบบจำลองด้วยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares: OLS) ซึ่งสอดคล้องกับสมการ (5):

```
regress ln_trade ln_dist RTA EU ln_gdp_exp ln_gdp_imp if Year==2023
```

คำสั่งประมาณค่านี้ประกอบด้วย `regress' ซึ่งเป็นคำสั่งมาตรฐานของ Stata สำหรับการประมาณค่าแบบ OLS โดยมี `ln_trade' เป็นตัวแปรตาม ส่วน `ln_dist', `RTA', `EU', `ln_gdp_exp' และ `ln_gdp_imp' เป็นตัวแปรอิสระ เงื่อนไข `if year==2023' กำหนดให้การประมาณค่าดำเนินการเฉพาะข้อมูลในปีเดียว คือปี ค.ศ. 2023 ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นปีอื่นใดในชุดข้อมูลได้ กล่าวคือปีใดก็ได้ในช่วง ค.ศ. 1990 ถึง 2023

ผลการประมาณค่าของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงอย่างง่ายแสดงไว้ในคอลัมน์ที่ (1) ของตารางที่ 1 โดยภาพรวม ผลลัพธ์เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ และมีข้อค้นพบสำคัญ 5 ประการ ประการแรก ค่าประมาณของผลกระทบของระยะทางต่อการค้ามีค่าเป็นลบ และมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งหมายความว่า หากระยะทางระหว่างประเทศเพิ่มขึ้น 1% ปริมาณการค้าจะลด

ลงประมาณ 1.179% ประการที่สอง ค่าประมาณของผลกระทบของข้อตกลงการค้าเสรีระดับภูมิภาค (RTA) และสหภาพยุโรป (EU) มีค่าเป็นบวกและมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งคู่ ค่าประมาณของ RTA แสดงให้เห็นว่า เมื่อปัจจัยอื่นคงที่ การมี RTA ทำให้การค้าระหว่างประเทศสมาชิกเพิ่มขึ้นประมาณ 94% (คำนวณจาก $[exp(0.664) - 1] \times 100 = 94.25$) ประการที่สาม เนื่องจากสหภาพยุโรปเป็นรูปแบบของการบูรณาการทางเศรษฐกิจที่ลึกซึ้ง จึงไม่น่าแปลกใจที่ผลกระทบของ EU ต่อการค้าจะมีขนาดใหญ่กว่าผลของ RTA ประการที่สี่ ค่าประมาณของผลกระทบของ GDP ทั้งในฝั่งประเทศผู้นำเข้าและผู้ส่งออกมีค่าเป็นบวกขนาดใหญ่และมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งยืนยันถึงความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างชัดเจน ระหว่างขนาดเศรษฐกิจกับปริมาณการค้า ประการสุดท้าย ค่า $R^2 = 0.64$ แสดงให้เห็นว่า แม้แบบจำลองแรงโน้มถ่วงอย่างง่ายจะใช้ตัวแปรอธิบายมาตรฐานเพียง 5 ตัว แต่ก็สามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลการค้าได้ในระดับที่ค่อนข้างดี

ตารางที่ 1: **พัฒนาการของการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วง**

	(1) Naive Gravity	(2) Structural Gravity	(3) Panel Gravity	(4) HDFE Gravity	(5) Multiplicative Gravity
ln_dist	-1.179	-1.473	-1.583		
	(0.032)**	(0.034)**	(0.006)**		
RTA	0.664	0.236	0.147	0.103	0.076
	(0.049)**	(0.051)**	(0.010)**	(0.013)**	(0.012)**
EU	0.900	-0.261	-0.526	0.427	0.273
	(0.112)**	(0.117)*	(0.022)**	(0.030)**	(0.024)**
ln_gdp_exp	1.352				
	(0.015)**				
ln_gdp_imp	1.143				
	(0.015)**				
Constant	-37.864				
	(0.600)**				
N	9564	9564	288085	288085	320920
R^2	0.643	0.759	0.772	0.897	

ที่มา: ผู้เขียน ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานแสดงในวงเล็บ $^{+}$ $p < 0.10$, * $p < .05$, ** $p < .01$. See ดูรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองในเนื้อหาหลักของบท

การประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้าง (Structural Gravity) เพื่อประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงโครงสร้างตามสมการ (6) เราจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนคำสั่งการประมาณค่าจากกรณีก่อนหน้าอยู่สองประการ ดังนี้:

```
reghdfe ln_trade ln_dist RTA EU if Year==2023, absorb(Exporter Importer)
```

ประการแรก เราใช้คำสั่ง `reghdfe'[5] แม้ว่าการใช้คำสั่งมาตรฐาน `regress' จากแบบจำลองก่อนหน้าจะสามารถใช้ได้โดยไม่มีปัญหา แต่ในที่นี้เราแนะนำให้ใช้ `reghdfe' เนื่องจากคำสั่งดังกล่าวสามารถจัดการกับ fixed effects จำนวนมากได้อย่างสะดวก ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลง ประการที่สองในบรรทัดคำสั่งการประมาณค่า โดยเฉพาะ การระบุตัวเลือกคำสั่ง `absorb (Exporter Importer)' หมายความว่าการประมาณค่าจะดำเนินการโดยรวม fixed effects ของประเทศผู้ส่งออก

[5]คำสั่ง `reghdfe' และคำสั่งสำหรับการประมาณค่าที่มี fixed effects จำนวนมากอย่างรวดเร็วอีกคำสั่งหนึ่งคือ `ppmlhdfe' ซึ่งจะใช้ในบทนี้ พัฒนาโดย Correia (2016) และ Correia et al. (2020) ตามลำดับ

(`Exporter') และประเทศผู้นำเข้า (`Importer') เข้าไว้ในแบบจำลอง ซึ่งจะช่วยควบคุมลักษณะเฉพาะของแต่ละประเทศทั้งในฝั่งผู้ส่งออก (เช่น มูลค่าการผลิต) และฝั่งผู้นำเข้า (เช่น การใช้จ่าย) ทั้งที่สามารถสังเกตได้และไม่สามารถสังเกตได้ รวมถึงควบคุมต้นทุนการค้าพหุภาคีที่อาจส่งผลต่อการค้าระหว่างประเทศคู่ใดคู่หนึ่ง ผลที่ตามมาคือ ผลการประมาณค่าใหม่ซึ่งแสดงในคอลัมน์ที่ (2) ของตารางที่ 1 จะไม่รวมค่าประมาณของผลกระทบของ GDP ต่อการค้าอีกต่อไป[6]

คอลัมน์ที่ (1) และคอลัมน์ที่ (2) ให้ผลการประมาณค่าที่แตกต่างกันในประเด็นสำคัญสี่ประการ ประการแรก ค่าประมาณของผลกระทบของระยะทางในคอลัมน์ที่ (2) ยังคงมีค่าเป็นลบและมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีขนาดมากขึ้น ประการที่สอง ค่าประมาณของผลกระทบของ EU ลดลงอย่างมาก และมีค่าเป็นลบ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับข้อออภิปรายเกี่ยวกับนัยเชิงทฤษฎีของ ต้นทุนการค้าพหุภาคี ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้า กล่าวคือ เมื่อมีการควบคุมต้นทุนการค้าพหุภาคีแล้ว แล้วผลกระทบของ EU ต่อการค้าจะมีขนาดเล็กลงอย่างมาก ประการที่สาม ผลกระทบของ RTA มีขนาดลดลงเช่นกัน แต่ยังคงมีค่าเป็นบวกและมีนัยสำคัญทางสถิติ ประการสุดท้าย ค่า R^2 ในคอลัมน์ที่ (2) มีค่ามากขึ้น ซึ่งเป็นผลที่คาดการณ์ได้ เนื่องจากแบบจำลองได้รวม fixed effects ของประเทศผู้ส่งออกและประเทศผู้นำเข้า ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยกำหนดการค้า ทั้งที่สามารถสังเกตได้และไม่สามารถสังเกตได้ ทั้งในฝั่งผู้ส่งออกและผู้นำเข้าได้อย่างครบถ้วน

การประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบพาเนล (Panel Gravity) จากบรรทัดคำสั่งการประมาณค่าก่อนหน้า เราปรับเปลี่ยนเพิ่มเติมอีกสองประการ เพื่อให้สามารถประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบพาเนล ซึ่งสอดคล้องกับสมการ (7) ได้ ดังนี้:

```
reghdfe ln_trade ln_dist RTA EU, absorb(Exporter#Year Importer#Year)
```

ประการแรก เราลบเงื่อนไข `if year==2023' ออกจากบรรทัดคำสั่งการประมาณค่า เนื่องจากเราต้องการใช้ข้อมูลจากทุกปีที่มีอยู่ในชุดข้อมูล ประการที่สอง เราอนุญาตให้ fixed effects ในแบบจำลองเชิงเศรษฐมิติสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาได้ โดยกำหนดให้มี fixed effects แบบประเทศผู้ส่งออก×ปี (Exporter#Year) และประเทศผู้นำเข้า×ปี (Importer#Year) สังเกตว่ามิติของ fixed effects ในการตั้งค่าแบบพาเนลนี้ สอดคล้องกับโครงสร้างเชิงทฤษฎีของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบพาเนล ในสมการ (3) ซึ่งตัวแปรเฉพาะของประเทศผู้ส่งออกและประเทศผู้นำเข้า (เช่น ตัวแปรที่สะท้อนขนาดเศรษฐกิจและต้นทุนการค้าพหุภาคี) สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาได้เช่นกัน

ผลการประมาณค่าแบบพาเนลแสดงไว้ในคอลัมน์ที่ (3) ของตารางที่ 1 ประการแรก จำนวนข้อมูลสังเกต (N) ในคอลัมน์ที่ (3) มีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างมาก และเนื่องจากมีการใช้ข้อมูลมากขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard errors) ในคอลัมน์ที่ (3) จึงมีขนาดเล็กลง ค่าประมาณของผลกระทบของระยะทาง มีขนาดใกล้เคียงกับผลการประมาณค่าแบบข้อมูลภาคตัดขวางในคอลัมน์ที่ (2) ส่วนค่าประมาณของผลกระทบของข้อตกลงการค้าเสรีระดับภูมิภาค (RTA) มีขนาดเล็กลง แต่ยังคงมีค่าเป็นบวกและมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ค่าประมาณของ EU ในคอลัมน์ที่ (3) มีขนาดใหญ่ มีค่าเป็นลบ และมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลลัพธ์นี้ถือว่าน่าประหลาดใจมากจากมุมมองด้านนโยบาย แต่ในมุมมองเชิงระเบียบวิธีแล้ว ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่ใช่เรื่องที่คาดไม่ถึง คำอธิบายคือ การกำหนดแบบจำลองพาเนลในลักษณะนี้ ยังไม่ได้ควบคุมต้นทุนการค้าระหว่างประเทศจำนวนมาก ที่อาจมีความสำคัญต่อการค้าแบบทวิภาคี ปัญหานี้จะได้รับการแก้ไข ในแบบจำลองที่นำเสนอในขั้นตอนถัดไป

[6]เมื่อมีการรวม fixed effects เข้าไว้ในแบบจำลอง ค่าประมาณของค่าคงที่จะสูญเสียความหมายในการตีความแบบเดิม ดังนั้นจึงไม่นำเสนอในตาราง

การประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงที่มี fixed effects มิติสูง (HDFE Gravity) ขั้นตอนถัดไปในการปรับแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบพาเนล คือการเพิ่ม fixed effects ของคู่ประเทศ (country-pair fixed effects) การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถทำได้อย่างง่ายดายผ่านตัวเลือก `absorb' ในคำสั่งการประมาณค่า กล่าวคือ นอกจาก fixed effects แบบประเทศผู้ส่งออก×ปี และประเทศผู้นำเข้า×ปี แล้ว เราจะเพิ่ม fixed effects ของคู่ประเทศ คือ `Importer#Exporter' ดังนั้น บรรทัดคำสั่งการประมาณค่าจะมีรูปแบบดังต่อไปนี้:

```
reghdfe ln_trade RTA EU, absorb(Exporter#Year Importer#Year Importer#Exporter)
```

สังเกตว่า ตัวแปร `ln_dist' ไม่ปรากฏอยู่ในบรรทัดคำสั่งการประมาณค่าใหม่อีกต่อไป เหตุผลคือ เมื่อมีการนำ fixed effects ของคู่ประเทศ (country-pair fixed effects) เข้ามาในแบบจำลองแล้ว fixed effects เหล่านี้จะดูดซับและควบคุมต้นทุนการค้าระหว่างประเทศที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time-invariant bilateral trade costs) ได้ทั้งหมด ซึ่งรวมถึงระยะทางด้วย เนื่องจากต้นทุนการค้าระหว่างประเทศจำนวนมากถูกกำหนดโดยปัจจัยทางภูมิศาสตร์ fixed effects ของคู่ประเทศจึงเป็นเครื่องมือทางเศรษฐมิติที่ทรงพลัง สำหรับควบคุมตัวแปรจำนวนมากที่ไม่สามารถวัดได้ง่าย หรือบางครั้งไม่สามารถสังเกตได้เลย สิ่งนี้ช่วยให้เราสามารถมุ่งเน้นไปที่ตัวแปรนโยบายที่เราสนใจ เช่น EU และ RTA ในกรณีของเรา ซึ่งเป็นตัวแปรแบบทวิภาคีเช่นกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา อย่างไรก็ตาม หากความสนใจอยู่ที่ผลกระทบของตัวกำหนดการค้าที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น ระยะทาง พรมแดนติดกัน หรือภาษาร่วมกัน จะไม่สามารถใช้ fixed effects ของคู่ประเทศได้ เนื่องจากการรวม fixed effects เหล่านี้ไว้ในแบบจำลอง จะทำให้ไม่สามารถประมาณค่าผลกระทบของตัวแปรดังกล่าวได้ ตัวอย่างการวิเคราะห์ในกรณีนี้จะถูกนำเสนอไว้ในแบบฝึกหัดท้ายบท

ผลการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วง ที่มี fixed effects ของคู่ประเทศ แสดงไว้ในคอลัมน์ที่ (4) ของตารางที่ 1 การกำหนดแบบจำลองในลักษณะนี้ นำไปสู่ค่าประมาณของผลกระทบของ EU ที่แตกต่างจากก่อนหน้าอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าประมาณของผลกระทบของ EU มีขนาดใหญ่ เป็นบวก และมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ส่วนค่าประมาณของ RTA มีขนาดเล็กลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนหน้า แต่ยังคงมีค่าเป็นบวกและมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ เหตุผลที่ค่าประมาณของตัวแปรนโยบายเปลี่ยนแปลงไป เป็นเพราะแบบจำลองก่อนหน้านี้ ยังไม่ได้ควบคุมตัวแปรอิสระสำคัญบางตัว ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งในขณะนี้ได้ถูกควบคุมอย่างครบถ้วน โดย fixed effects ของคู่ประเทศ ดังนั้น หากเป้าหมายของการวิเคราะห์ คือการศึกษาผลกระทบของตัวแปรนโยบายแบบทวิภาคี เช่น RTA การเป็นสมาชิก EU ภาษีศุลกากร หรือมาตรการคว่ำบาตร การใช้แบบจำลองที่มี fixed effects ของคู่ประเทศ จึงเป็นวิธีที่แนะนำอย่างยิ่ง นอกจากนี้ การรวม fixed effects ของคู่ประเทศ ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการอธิบายข้อมูลของแบบจำลอง ซึ่งสะท้อนผ่านค่า $R^2 = 0.9$

การประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบคูณ (Multiplicative Gravity) ในขั้นตอนสุดท้ายนี้ เราจะประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงในรูปแบบคูณ โดยบรรทัดคำสั่งการประมาณค่าที่สอดคล้องกันมีรูปแบบดังต่อไปนี้:

```
ppmlhdfe Trade RTA EU, absorb(Exporter#Year Importer#Year Importer#Exporter)
```

เพื่อให้สามารถประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงในรูปแบบคูณได้ จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนคำสั่งการประมาณค่าอย่างง่ายสองประการ ประการแรก คือการแทนที่คำสั่ง `reghdfe' ด้วยคำสั่ง `ppmlhdfe' และประการที่สอง คือการใช้ตัวแปรการค้าในรูปของค่าระดับ (levels) กล่าวคือ ใช้ตัวแปร `Trade' แทนการใช้ลอการิทึมของการค้า `ln_trade' คำสั่งนี้เริ่มต้นด้วย `ppmlhdfe' ซึ่งสะท้อนว่า การประมาณค่าจะใช้ตัวประมาณค่า PPML แทนที่จะใช้ตัวประมาณค่า OLS

ตัวประมาณค่า PPML ได้กลายเป็นวิธีมาตรฐาน สำหรับการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วง เนื่องจากมีข้อได้เปรียบทางเศรษฐมิติหลายประการเมื่อเทียบกับ OLS ประการสำคัญคือ PPML สามารถรองรับข้อมูลการค้าที่มีค่าเป็นศูนย์ในชุดข้อมูลได้[7] สิ่งสำคัญคือ การตีความค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ในแบบจำลองแรงโน้มถ่วง จะยังคงเหมือนเดิม ไม่ว่าจะได้มาจาก PPML หรือ OLS นอกจากนี้ จากความก้าวหน้าในด้านสมรรถนะการคำนวณในช่วงหลัง ทำให้ตัวประมาณค่า PPML เป็นวิธีประมาณค่าที่มีทนทานต่อปัญหา heteroskedasticityและสามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็ว

ผลการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงชุดสุดท้ายแสดงไว้ในคอลัมน์ที่ (5) ของตารางที่ 1 แบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบคูณให้ค่าประมาณของ RTA เท่ากับ 0.076 ซึ่งหมายความว่า เมื่อปัจจัยอื่นคงที่ (*ceteris paribus*) ผลกระทบของข้อตกลงการค้าเสรีระดับภูมิภาค (RTA) ที่มีผลบังคับใช้ในช่วงเวลาที่ศึกษา ทำให้การค้าระหว่างประเทศสมาชิกเพิ่มขึ้นประมาณ8% ส่วนค่าประมาณของ EU บ่งชี้ถึงผลกระทบที่สอดคล้องกัน คือการเพิ่มขึ้นของการค้าประมาณ 31% ค่าประมาณของตัวแปรนโยบายทั้งสองนี้ อาจดูค่อนข้างเล็ก อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาประเด็นสำคัญต่อไปนี้ ประการแรก เนื่องจากแบบจำลองใช้ fixed effects ของคู่ประเทศ ค่าประมาณของเราจึงสะท้อนเฉพาะผลกระทบของ RTA ที่มีผลบังคับใช้หลังปี 1990 รวมทั้งผลกระทบจากประเทศสมาชิก EU ที่เข้าร่วมหลังปี 1990 เท่านั้น ประการที่สอง ผลกระทบของทั้ง EU และ RTA อาจมีความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างข้อตกลงแต่ละประเภท สำหรับกรณีของ RTA ประเด็นนี้จะถูกนำเสนอเพิ่มเติม ในส่วนแบบฝึกหัดท้ายบท โปรดสังเกตว่า ไม่มีการรายงานค่า R^2 ในคอลัมน์ที่ (5)[8] ดังนั้น หากต้องการประเมินความสามารถในการอธิบายข้อมูลของแบบจำลองโดยรวม ผู้อ่านสามารถย้อนกลับไปดูรูปที่ 2 ซึ่งสร้างขึ้นจากผลการประมาณค่าของแบบจำลองนี้

ข้อพิจารณาสุดท้าย หากคุณเข้าใจความหมาย แรงจูงใจ และนัยสำคัญขององค์ประกอบต่างๆ ในแบบจำลองแรงโน้มถ่วงแบบคูณที่เราเพิ่งอภิปรายไป นั่นหมายความว่าคุณได้ก้าวหน้าไปไกลมากแล้ว และควรรู้สึกภาคภูมิใจกับตนเอง ดังที่จะเห็นในส่วนแบบฝึกหัดท้ายบท เพียงเพิ่มตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้องเข้าไปในบรรทัดคำสั่งการประมาณค่า คุณก็จะสามารถประมาณผลกระทบของนโยบายทวิภาคีที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจำนวนมากต่อการค้าได้ เช่น มาตรการคว่ำบาตร หรือสหภาพศุลกากร เป็นต้น นอกจากนี้ หากคุณสนใจศึกษาผลกระทบของปัจจัยกำหนดการค้า ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น ระยะทาง ความสัมพันธ์แบบอาณานิคม หรือการใช้ภาษาราชการร่วมกัน คุณสามารถนำตัวแปรเหล่านี้เข้าสู่แบบจำลอง แทนการใช้ fixed effects ของคู่ประเทศได้ โดยสรุป ในตอนนี้คุณมีเครื่องมือพร้อมแล้ว สำหรับการศึกษาผลกระทบของนโยบายต่างๆ ต่อกระแสการค้า ด้วยแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงประจักษ์สมัยใหม่

ก่อนจะจบบทนี้ ยังมีประเด็นหนึ่งของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเชิงเศรษฐมิติ ที่เรายังไม่ได้กล่าวถึง คือ วิธีจัดการกับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard errors) ในการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วง สาเหตุที่ยังไม่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้มีสามประการ ประการแรก หัวข้อนี้อาจมีความซับซ้อนเกินไปสำหรับวัตถุประสงค์ของเอกสารประกอบการสอนนี้ ประการที่สอง ยังไม่มีแนวปฏิบัติที่ได้รับการยอมรับอย่างชัดเจนสำหรับการจัดการปัญหานี้ และประการที่สาม ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระจะไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้บ้าง แต่โดยทั่วไปแล้ว ผลกระทบต่อข้อสรุปของแบบจำลองแรงโน้มถ่วง มักมีขนาดไม่มาก ดังนั้น โดยไม่ลงรายละเอียดมากนัก คำแนะนำของผู้เขียนคือ ให้ใช้แนวทางที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยเพิ่มตัวเลือกคำสั่ง `cluster(Exporter#Importer)' ไว้ท้ายคำสั่งการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากนักเศรษฐมิติยังไม่ได้มีข้อสรุปร่วมกันในประเด็นนี้ คุณจึงไม่จำเป็นต้องกังวลมากนัก และหากมีคำถามว่า เหตุใดจึงเลือกใช้วิธีปรับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบนี้ คุณสามารถตอบได้อย่างง่ายๆ ว่า "**โทษ Yotov ก็แล้วกัน!**"

[7] ผู้อ่านที่สนใจสามารถดูการอภิปรายโดยละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติที่สำคัญของ PPML สำหรับการประมาณค่าแบบจำลองแรงโน้มถ่วงได้ใน Santos Silva and Tenreyro (2006) และ Larch et al. (2025)

[8] เหตุผล คือ ตัว ประมาณ ค่า PPML ซึ่ง เป็น แบบ ไม่ เชิง เส้น ให้ ค่า ``pseudo-R^2" ซึ่ง ไม่ สามารถ เปรียบ เทียบ โดยตรง กับ ค่า R^2 จาก การ ประมาณ ค่า แบบ OLS ก่อน หน้า นี้ได้ ดู ราย ละเอียด เพิ่ม เติม ที่ https://www.statalist.org/forums/forum/general-stata-discussion/general/1528609-ppmlhdfe-pseudo-r2.

หนังสืออ้างอิง

Anderson, James E.. 1979. ``A Theoretical Foundation for the Gravity Equation." *American Economic Review* 69 (1): 106--116.

Anderson, James E., and Eric van Wincoop. 2003. ``Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle." *American Economic Review* 93 (1): 170--192.

Arkolakis, Costas, Arnaud Costinot, and Andrés Rodriguez-Clare. 2012. ``New Trade Models, Same Old Gains?" *American Economic Review* 102 (1): 94--130.

Baldwin, Richard E., and Daria Taglioni. 2006. ``Gravity for Dummies and Dummies for Gravity Equations." *NBER Working Paper No. 12516*.

Correia, Sergio. 2016. ``A Feasible Estimator for Linear Models with Multi-Way Fixed Effects." *unpublished manuscript available at http://scorreia.com/research/hdfe.pdf*.

Correia, Sergio, Paulo Guimarães, and Thomas Zylkin. 2020. ``Fast Poisson Estimation with High-Dimensional Fixed Effects." *The Stata Journal* 20 (1): 95--115. 10.1177/1536867x20909691.

Eaton, Jonathan, and Samuel Kortum. 2002. ``Technology, Geography and Trade." *Econometrica* 70 (5): 1741--1779.

Frankel, J.A., and D. Romer. 1999. ``Does Trade Cause Growth?" *American Economic Review* 89 (3): 379--399.

Krugman, Paul. 1995. ``Increasing returns, imperfect competition and the positive theory of international trade." In *Handbook of International Economics*, edited by Grossman, G. M., and K. Rogoff Volume 3. 1st edition, Chap. 24 1243--1277.

Larch, Mario, Serge Shikher, and Yoto Yotov. 2025. ``Estimating Gravity Equations: Theory Implications, Econometric Developments, and Practical Recommendations." Working Papers 2025001, Center for Global Policy Analysis, LeBow College of Business, Drexel University, https://ideas.repec.org/p/drx/wpaper/2025001.html.

Ravenstein, Ernest George. 1885. ``The Laws of Migration: Part 1." *Journal of the Statistical Society of London* 48 (2): 167--235.

Rose, Andrew K. 2000. ``One money, one market: the effect of common currencies on trade." *Economic Policy* 15 (30): 08--45.

Santos Silva, João M.C., and Silvana Tenreyro. 2006. ``The Log of Gravity." *Review of Economics and Statistics* 88 (4): 641--658.

Tinbergen, Jan. 1962. *Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economic Policy*. New York: The Twentieth Century Fund.

Yotov, Yoto V. 2024. ``The evolution of structural gravity: The workhorse model of trade." *Contemporary Economic Policy* 42 (4): 578--603.

Yotov, Yoto V., Roberta Piermartini, Jose-Antonio Monteiro, and Mario Larch. 2016. *An Advanced Guide to Trade Policy Analysis: The Structural Gravity Model*. Geneva: UNCTAD and WTO.

แบบฝึกหัดท้ายบท

คำถามในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ ประการแรก เพื่อทบทวนและเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาและเครื่องมือ ที่ได้กล่าวถึงในเอกสารประกอบการสอนชุดนี้ ประการที่สอง เพื่อฝึกฝนและพัฒนาทักษะการเขียนโค้ด และประการที่สาม เพื่อแสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้นโยบายในโลกจริง คำถามถูกจัดเรียงตามระดับความยากจากง่ายไปยาก แต่ละคำถามเป็นอิสระต่อกันและสามารถทำแยกกันได้ บางคำถามแบ่งออกเป็นหลายข้อย่อย โดยการแก้แต่ละข้ออาจต้องใช้โค้ดเพียงไม่กี่บรรทัด ข้อมูลที่ใช้สำหรับทุกคำถามคือฐานข้อมูล ``*Gravity for Undergraduates" (GU)* เท่านั้น

1. **ฟิสิกส์และการค้า (Physics & Trade)** ใช้ตัวแปร GDP ของประเทศผู้ส่งออกและผู้นำเข้า รวมทั้งตัวแปร Distance สำหรับปี 2023 จากฐานข้อมูล GU เพื่อสร้างตัวแปรการค้าตามแบบจำลองแรงโน้มถ่วงอย่างง่าย (1) ที่กล่าวถึงในตำรานี้ ให้สมมติว่า ค่าความยืดหยุ่นของการค้าต่อระยะทางเท่ากับ $\theta = -1$ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการค้าระหว่างประเทศ นอกจากนี้ เนื่องจากเราสนใจความสัมพันธ์ระหว่าง การค้าที่คำนวณจากแบบจำลองกับการค้าจริงในข้อมูล ให้สมมติว่า ค่าคงที่ของแบบจำลองแรงโน้มถ่วงเท่ากับ $\tilde{G} = 1$ จงคำนวณค่าสหสัมพันธ์ ระหว่างการค้าที่สร้างจากแบบจำลองแรงโน้มถ่วงอย่างง่ายกับการค้าจริงในข้อมูล ค่าค่าสหสัมพันธ์ที่ได้คือเท่าใด จากนั้น เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรทั้งสอง อะไรอาจอธิบายความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้

2. **การประมาณค่าแบบด้วยข้อมูลแบบตัดขวางในช่วงเวลาต่างๆ (Cross-section estimates over time)** ใช้ฐานข้อมูล GU เพื่อประมาณค่าแบบจำลอง ``Naive Gravity" จากส่วนที่ 4 ของเอกสารประกอบการสอนนี้ (กล่าวคือ แบบจำลองในคอลัมน์ที่ (1) ของตารางที่ 1) สำหรับปี 1990, 2000, 2010 และ 2020 อภิปรายการเปลี่ยนแปลงของค่าประมาณของตัวแปรแรงโน้มถ่วงทั้งห้าตลอดช่วงเวลา *คำแนะนำ:* คุณสามารถประมาณสมการ 4 สมการแยกกัน หรือเขียนลูปเพื่อทำการประมาณค่าก็ได้

3. **ตัวแปรแรงโน้มถ่วงมาตรฐาน (The standard gravity variables)** ตัวแปรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อใช้เป็นตัวแทนของต้นทุนการค้าที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา คือ ลอการิทึมของระยะทางระหว่างประเทศ การมีพรมแดนติดกัน การใช้ภาษาราชการร่วมกัน และความสัมพันธ์แบบอาณานิคม ในคำถามนี้ คุณจะใช้ฐานข้อมูล GU เพื่อประมาณผลกระทบของตัวแปรแรงโน้มถ่วงมาตรฐานเหล่านี้ต่อการค้า

   3.a. เริ่มจากแบบจำลอง ``Multiplicative Gravity" จากส่วนที่ 4 ของเอกสารประกอบการสอนชุดนี้ (คอลัมน์ที่ (5) ของตารางที่1) และเพิ่มตัวแปร `ln_dist', `Contiguous_Border', `Common_Language', และ `Colonial_Ties' ลงในแบบจำลองโดยตรง คุณสามารถประมาณค่าผลกระทบของตัวแปรเหล่านี้ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

   3.b. ประมาณค่าแบบจำลองเดียวกันอีกครั้ง แต่คราวนี้ ไม่ใช้ fixed effects ของคู่ประเทศ องค์ประกอบใดในแบบจำลองเดิมที่ทำหน้าที่เพิ่ม fixed effects ของคู่ประเทศ จงลบองค์ประกอบนั้นออก คุณสามารถประมาณค่าตัวแปรใหม่จากข้อ 3.a ได้หรือไม่ จงตีความค่าประมาณใหม่ทั้งในด้านทิศทาง (sign) และขนาด (magnitude)

4. **ผลกระทบของสหภาพศุลกากร (Customs Unions)** สหภาพศุลกากรเป็นรูปแบบหนึ่งของ RTA ซึ่งประเทศสมาชิกนอกจากจะเปิดเสรีการค้าระหว่างกันแล้ว ยังใช้นโยบายการค้าภายนอกร่วมกันสำหรับการค้ากับประเทศที่ไม่ได้เป็นสมาชิก ดังนั้นสหภาพศุลกากรจึงถือเป็นรูปแบบของ RTA ที่มีการบูรณาการลึกกว่าและคาดว่าจะส่งเสริมการค้ามากกว่า RTA ทั่วไป

   4.a. ใช้ฐานข้อมูล GU และแบบจำลอง ``Multiplicative Gravity" จากส่วนที่ 4 ของเอกสารประกอบการสอนชุดนี้ (คอลัมน์ที่ (5) ของตารางที่1) โดยเพิ่มตัวแปร `Customs_Union' จงตีความและอภิปรายค่าประมาณของตัวแปรนี้

   4.b. เนื่องจากโดยนิยามแล้ว ตัวแปร RTA รวมกรณีของสหภาพศุลกากรไว้แล้ว เพราะสหภาพศุลกากรถือเป็นรูปแบบ

หนึ่งของความตกลงการค้าเสรีระดับภูมิภาค (RTA) ดังนั้น ค่าประมาณของ `Customs_Union' ที่ได้จากข้อ 4.a ควรถูกตีความว่าเป็น ``ส่วนเบี่ยงเบน'' จากค่าประมาณของ RTA เพื่อให้ได้ค่าประมาณของผลกระทบของสหภาพศุลกากรในระดับจริง ให้ตั้งค่าตัวแปรดัมมี RTA เป็นศูนย์ เมื่อ `Customs_Union' มีค่าเท่ากับหนึ่ง จากนั้นประมาณค่าแบบจำลองจากข้อ 4.a อีกครั้ง เปรียบเทียบค่าประมาณของ `Customs_Union' จากข้อ 4.a และ 4.b แล้วจงตีความค่าประมาณใหม่ที่ได้

5. **ผลกระทบของมาตรการคว่ำบาตรทางการค้า (Trade Sanctions)** มาตรการคว่ำบาตรทางเศรษฐกิจได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญของการดำเนินนโยบายระหว่างประเทศในยุคปัจจุบัน ในข้อนี้ จะใช้ฐานข้อมูล GU เพื่อประมาณผลกระทบของมาตรการคว่ำบาตรทางการค้าแบบสมบูรณ์ และแยกวิเคราะห์ผลกระทบของมาตรการคว่ำบาตรที่มีต่อรัสเซีย

5.a. เริ่มต้นด้วยข้อมูล GU และประมาณค่าแบบจำลอง ``Multiplicative Gravity'' จากส่วนที่ 4 ของเอกสารประกอบการสอนชุดนี้ (คอลัมน์ที่ (5) ของตารางที่1) โดยเพิ่มตัวแปร `Trade_Sanction' จงตีความและอภิปรายค่าประมาณของผลกระทบจากมาตรการคว่ำบาตร

5.b. ปรับแบบจำลองจากข้อ 5.a เพื่อแยกผลกระทบของมาตรการคว่ำบาตรที่มีต่อรัสเซีย โดยใช้ตัวแปร `Trade_Sanction' สร้างตัวแปรใหม่ชื่อ `Russia_Sanction' ซึ่งเป็นตัวแปรดัมมีที่มีค่าเท่ากับ 1 หากรัสเซียเป็นส่วนหนึ่งของมาตรการคว่ำบาตรทางการค้า และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น จากนั้น ให้กำหนดค่าตัวแปร `Trade_Sanction' เป็นศูนย์ เมื่อ `Russia_Sanction' มีค่าเท่ากับหนึ่ง แล้วประมาณค่าแบบจำลองจากข้อ 5.a อีกครั้ง โดยเพิ่มตัวแปร `Russia_Sanction' จงตีความผลลัพธ์ที่ได้

5.c. แยกผลกระทบของมาตรการคว่ำบาตรต่อรัสเซียที่เกิดขึ้นในปี 2022 ซึ่งเป็นผลจากการรุกรานยูเครน โดยแบ่งตัวแปร `Russia_Sanction' จากข้อ 5.b ออกเป็นสองตัวแปร ได้แก่ `Russia_Sanction_Old' สำหรับมาตรการคว่ำบาตรก่อนปี 2022 และ `Russia_Sanction_New' สำหรับมาตรการคว่ำบาตรที่เริ่มใช้ในปี 2022 จากนั้นประมาณค่าแบบจำลองจากข้อ 5.b อีกครั้ง โดยแทนที่ตัวแปร `Russia_Sanction' ด้วยตัวแปรใหม่ทั้งสองตัว จงอภิปรายและตีความผลการประมาณค่า

6. **ความแตกต่างของผลกระทบจาก RTA** ค่าประมาณของผลกระทบจาก RTA ที่ได้ในตารางที่ 1 ให้ค่าประมาณเพียงค่าเดียวในแต่ละแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริง RTA มีอยู่หลายรูปแบบ และผลกระทบของแต่ละความตกลงอาจแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ค่าประมาณเพียงค่าเดียวอาจปกปิดความแตกต่างของผลกระทบเหล่านี้ ในข้อนี้ จะใช้ฐานข้อมูล GU เพื่อสำรวจความแตกต่างของผลกระทบจาก RTA ในหลายมิติ

6.a. เริ่มต้นด้วยข้อมูล GU และประมาณค่าแบบจำลอง ``Multiplicative Gravity'' จากส่วนที่ 4 ของเอกสารประกอบการสอนชุดนี้ (คอลัมน์ที่ (5) ของตารางที่1) โดยอนุญาตให้ผลกระทบของ RTA แตกต่างกัน ในสามช่วงเวลา ได้แก่ 1990--1999, 2000-2009 และ 2010-2023 (คำใบ้: จำเป็นต้องแบ่งตัวแปร RTA ตัวเดียว ออกเป็นสามตัวแปรโดยแต่ละตัวแปรสอดคล้องกับช่วงเวลาหนึ่ง) จงอภิปรายผลการประมาณค่า

6.b. ใช้แบบจำลอง ``Multiplicative Gravity'' จากส่วนที่ 4 ของเอกสารประกอบการสอนชุดนี้ (คอลัมน์ที่ (5) ของตารางที่1) เพื่อแยกผลกระทบของความตกลงการค้าเสรีออสเตรเลีย-จีน (Australia-China FTA: ChAFTA) ซึ่งเริ่มมีผลในปี 2015 โดยสร้างตัวแปรดัมมีชื่อ ChAFTA ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับการค้าระหว่างออสเตรเลียและจีน ในปีหลังจากปี 2014 จากนั้นเพิ่มตัวแปรนี้เข้าไปในแบบจำลอง ``Multiplicative Gravity''

6.c. แบบจำลองในข้อ 6.b ให้ค่าประมาณของ ChAFTA ในฐานะ ``ส่วนเบี่ยงเบน'' จากผลกระทบของ RTA เนื่องจากตัวแปร RTA รวมผลของ ChAFTA อยู่แล้ว เพื่อให้ได้ค่าประมาณของผลกระทบทั้งหมดของ ChAFTA ให้ตั้งค่าตัวแปร RTA เป็นศูนย์ เมื่อ ChAFTA มีค่าเท่ากับหนึ่ง จากนั้นประมาณค่าแบบจำลองจากข้อ 6.b อีกครั้ง เปรียบเทียบค่าประมาณของ ChAFTA จากสองแบบจำลอง และตีความค่าประมาณใหม่ที่ได้

6.d. ทดสอบว่าผลกระทบของ ChAFTA มีลักษณะไม่สมมาตรหรือไม่ (คำใบ้: แบ่งตัวแปร ChAFTA ออกเป็นสองตัวแปรตามทิศทางของการค้า ได้แก่ การส่งออกจากออสเตรเลียไปยังจีน และการส่งออกจากจีนไปยังออสเตรเลีย จากนั้นใช้ตัวแปรใหม่ทั้งสอง แทนตัวแปร ChAFTA ในแบบจำลองจากข้อ 6.c แล้วเปรียบเทียบค่าประมาณของทั้งสองตัวแปร)