เศรษฐศาสตร์ Agent: แนวคิด หลักการ และทิศทางอนาคตของ Agent-Based Economics (ACE/ABM)

รายงานการวิจัยเชิงวิเคราะห์ *(Analytical Research Report)*

บทคัดย่อ — บทความนี้ให้ภาพรวมเชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์เชิงตัวแทน *(Agent-Based Economics)* ภายใต้กรอบ *ABM/ACE:* การจำลองระบบเศรษฐกิจเป็นระบบซับซ้อนที่ประกอบด้วยตัวแทน *(agents)* ที่มีพฤติกรรมแบบกึ่งอธิบายตนเองซึ่งโต้ตอบกันในเวลาและพื้นที่ ความสำคัญหลักคือการเห็นว่า *macro-patterns* เกิดขึ้นจากกฎ-และ-การเรียนรู้ของ *micro-level agents* โดยไม่บังคับให้มีสมการดุล *(equilibrium)* ลักษณะเด่นของ *ACE* คือการเน้นการศึกษาแบบ *bottom-up* เพื่ออธิบายปรากฏการณ์เศรษฐกิจ เช่น ความผันผวนของตลาด ความเสี่ยงระบบ และการกระจายรายได้ ผ่านการวิเคราะห์แบบ *empirical validation* และการประยุกต์ใช้งานจริงในสาขาต่าง ๆ เช่น ราคาสินทรัพย์ เครือข่ายพลังงาน ตลาดโครงสร้าง และนโยบายเศรษฐกิจ บทความสรุปถึงแนวคิดสำคัญ ความสัมพันธ์กับทฤษฎีเดิม ขอบเขตการประยุกต์ และความท้าทายในการ *validate* และ *calibration* ของ *ABM/ACE* พร้อมเสนอทิศทางการพัฒนา โดยอ้างอิงแหล่งข้อมูลจาก *(i) ACE/ABM* บนวิกิพีเดีย *(ACE as a field and methodology), (ii)* แนวคิด *ABM* ในเศรษฐศาสตร์ในสื่อการศึกษา/สำนักวิจัย *(Exploring Economics; EELISA Summer School), (iii)* หนังสือเชิงปฏิบัติการ/ตำราที่เน้น *ABM* เช่น *Introduction to Agent-Based Economics, (iv)* เอกสาร *abcEconomics* สำหรับแพลตฟอร์ม *ABM (Python-based)* และการใช้งานจริง รวมถึง *(v)* การอภิปรายเชิงทฤษฎีและประยุกต์จากงานวิจัยล่าสุดที่มุ่งสู่อนาคตของ *ABM* ในเศรษฐศาสตร์และการเงิน บทสรุปมุ่งเน้นถึงการตีความเชิงนโยบายและข้อสรุปเชิงข้อเสนอสำหรับนักวิชาการผู้ต้องการผลักดันการใช้ *ABM/ACE* ในงานวิจัยและการสื่อสารกับผู้กำหนดนโยบาย

1. บทนำและกรอบแนวคิด

เศรษฐศาสตร์ Agent หรือ Agent-Based Economics (ACE) คือวิธีคิดและเครื่องมือในการศึกษาเศรษฐกิจโดยมองว่าเศรษฐกิจเป็นระบบซับซ้อนที่ประกอบด้วยตัวแทนหลายชนิดที่โต้ตอบกันอย่างไม่เป็นศูนย์กลาง ตัวแทนดังกล่าวเป็น objects ในคอมพิวเตอร์ที่มีข้อกำหนดกฎ-การกระทำ และสามารถเรียนรู้ ปรับตัว และทำงานร่วมกันได้เช่นเดียวกับมนุษย์ในบริบทต่าง ๆ ACE เน้นการจำลองจาก micro-level เพื่อสังเคราะห์ macro-dynamics และมักจะไม่มีสมมติฐานว่าตลาดต้องอยู่ในสมดุลแบบ equilibrium ตลอดเวลา (non-equilibrium) ด้วยเหตุนี้ ACE จึงสอดคล้องกับแนวคิด complex adaptive systems และ bounded rationality โดยพื้นที่การใช้งานรวมถึงราคาสินทรัพย์, macroeconomics, energy systems, market structure, และการ

ออกแบบกลไกทางเศรษฐศาสตร์ (mechanism design) โดยไม่ได้ทิ้งทฤษฎีเดิมทั้งหมด แต่แตกต่างในการให้ความสำคัญกับ autonomy ของตัวแทน การเรียนรู้ และการเปลี่ยนแปลง (learning and evolving dynamics) ที่สามารถนำไปสู่ emergent macro-patterns อย่าง bottom-up (ACE; Wikipedia; Exploring Economics)

แนวคิดสำคัญประกอบด้วย:

- ระบบเศรษฐกิจถูกมองเป็นระบบที่ประกอบด้วย agent heterogeneous ที่มีพฤติกรรม rule-based และสามารถเรียนรู้ (learning) หรือปรับตัวด้วยวิธีที่อาจรวม AI methods ได้
- การคาดการณ์และการสร้างแบบจำลองไม่พึ่งพาการหาค่าคงที่หรือ equilibrium-rule แต่อาศัยการปรับตัวของ Agents ตามกฎที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าและข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการโต้ตอบ
- การวิเคราะห์เน้น empirical validation และการประยุกต์ใช้งานผ่านการทดลองทางคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ข้อมูลระดับ meso/micro เพื่อยืนยันพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจาก micro-rules (ACE; Wikipedia; Exploring Economics)

2. โครงสร้างแนวคิดและแกนหลักของ ACE/ABM

2.1 จุดมุ่งหมายและความแตกต่างจากแบบจำลองเศรษฐศาสตร์แบบดั้งเดิม

- ACE เป็นการศึกษาเศรษฐกิจโดยแจกแจงตัวแทนหลากหลายชนิดที่มีอิสระในการดำเนินการ ไม่ถูกจำกัดด้วยสมเหตุสมผลของ “นักปราชญ์ที่ทุกอย่างเป็นเหตุเป็นผล” หรือ optimization-driven microfoundations แบบ DSGE โดย ABM ให้ความสำคัญกับการเกิด emergent macro-properties ที่อาจไม่ถูกทำนายล่วงหน้า และมักมีการเรียนรู้/ปรับตัวของตัวแทน (Bounded rationality) และความไม่สมดุล (Non-equilibrium dynamics) ซึ่งต่างจากศาสตร์จุลภาคแบบคลาสสิกที่อาศัยสมมติฐานยึดโยงกับ equilibrium

2.2 ผู้ร่วมงานและประวัติศาสตร์

- ACE เป็น Special Interest Group ของ Society for Computational Economics และได้รับอิทธิพลสำคัญจาก Santa Fe Institute (ACE; Wikipedia; Exploring Economics) ซึ่งเป็นสถานที่สำคัญในการพัฒนา ABM ในช่วงทศวรรษ 1980s–1990s
- ABM ในเศรษฐศาสตร์ได้รับการยอมรับและถูกนำไปใช้ในหลายสาขา เช่น asset pricing, macroeconomics, energy systems, และตลาด/อุตสาหกรรม (ACE; Axtell & Farmer, 2025)

3. แนวคิดหลักของ ACE/ABM ในการวิเคราะห์เศรษฐกิจ

3.1 การประสานระหว่าง micro-และ macro-dynamics

- ACE ใช้หลักการ bottom-up: ตั้งค่าภูมิทัศน์เริ่มต้น (initial conditions) และให้ตัวแทน interact กันในลำดับเวลา เพื่อดูว่าปรากฏการณ์ macroscopic เกิดขึ้นอย่างไรจากกฎ micro-level และการเรียนรู้ของ agents (ACE; Wikipedia)
- โครงสร้าง ABM ช่วยให้มองเห็นการไม่เหมือนกัน (heterogeneity) ของ agents และการเรียนรู้/ปรับตัว (adaptive behavior) ที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายลอจิกเชิงเศรษฐกิจในระบบ (e.g., market frictions, network effects, diffusion/amplification mechanisms) (Introduction to Agent-Based Economics; ABC Economics Documentation)

3.2 ความเป็นอิสระของตัวแทนและการเรียนรู้

- ตัวแทนมีอิสระในการตัดสินใจและเรียนรู้ผ่านการสำรวจกลยุทธ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการนำ AI methods เช่น reinforcement learning (RL) และ deep learning มาใช้เพื่อยกระดับความซับซ้อนของพฤติกรรมและการปรับตัวในสภาวะตลาดที่เปลี่ยนแปลง (ACE; arXiv 2025)

3.3 บทบาทของความไม่สมดุลและ bounded rationality

- ABM/ACE เน้น non-equilibrium economics และ bounded rationality แทน rational expectations แบบคลาสสิก ซึ่งช่วยให้ ABM สามารถอธิบายสถานการณ์ crisis, contagion, และการล้มครืนของระบบที่ไม่อยู่ในสมดุลตลอดเวลา (Exploring Economics; Bank of England 2016)

3.4 บทบาทของข้อมูลและการ validate

- ACE ให้ความสำคัญกับ empirical validation frameworks โดยใช้ข้อมูลระดับ meso-หรือ micro-data และการสหวิทยาการเพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และเพื่อที่จะสื่อสารข้อจำกัดของ ABMs ในการคาดการณ์ (ACE; Exploring Economics; Axtell & Farmer, 2025)

4. แพลตฟอร์มและวิธีการสร้าง ABM ในเศรษฐศาสตร์

4.1 abcEconomics: Python-based ABM platform

- abcEconomics เป็นแพลตฟอร์ม ABM ที่รองรับการจำลองเศรษฐศาสตร์ด้วย agent-based models โดย agents เป็น Python objects (Firm, Household) และมีระบบการจัดการสินค้า (Goods เป็นวัตถุจริงที่มีสถานะ ownership transfer โดยอัตโนมัติ)

- การดำเนินการแบบ parallel: agents ทำงานพร้อมกันผ่านระบบ Simulation, ใช้ C++ ในส่วนเบื้องหลังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และรองรับ PyPy3 ที่ช่วยเร่งความเร็วประมาณ 30x เมื่อใช้งานกับ CPython
- จุดเด่นคือการพัฒนาอย่างรวดเร็วและการทดลองที่ง่าย (rapid development) โดยการแยกหน้าที่: โมเดลเมโลด (behavior and decision logic) อยู่ในมือผู้สร้าง ในขณะที่การ exchange/production/consumption ถูกดูแลโดยแพลตฟอร์ม
- แม้ว่า abcEconomics จะเน้น domain-specific สำหรับเศรษฐศาสตร์ แต่ก็สามารถรวมกับการเงินผ่าน abcFinance และรองรับการใช้งาน multi-core parallelism และ spatial representation ได้บ้าง แต่ไม่ใช่จุดเด่นของแพลตฟอร์ม (abcEconomics Documentation; Release 0.9.3b0)

4.2 AEX and real-time market-inspired coordination

- แนวคิด AEX (Agent Exchange) เป็นระบบ auction engine ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับ marketplace dynamics ของ agents ด้วย real-time bidding (RTB) ที่ตอบสนองได้ใน ~100 ms โดยประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ: USP (User-Side Platform), ASP (Agent-Side Platform), Agent Hubs, DMP (Data Management Platform) และ AEX เองที่ broadcast ความต้องการ รับ bids และเลือกวิธีการแก้ปัญหาผ่านการ bidding แบบ real-time
- AEX มีแรงบันดาลใจจาก RTB ที่ใช้ในโฆษณา แต่ถูกขยายไปสู่การทำงานร่วมกันของหลายตัวแทนและการแลกเปลี่ยนคุณค่าในงานต่าง ๆ ไม่ใช่เพียงโฆษณา
- จุดสำคัญคือการอธิบายว่าการจัดการตลาด open-market coordination เป็นส่วนหนึ่งของ ABM ที่อาจสูงขึ้นในอนาคต โดยช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่นและสามารถปรับเปลี่ยนได้เมื่อเงื่อนไขตลาดเปลี่ยนแปลง (arXiv/ABCeconomics; arXiv 2025)

4.3 โครงสร้างนวัตกรรมและการใช้งานจริง

- บทความและสื่อการศึกษา (Exploring Economics, EELISA, arXiv) ชี้ให้เห็นถึงทิศทางที่ ABM มีการใช้งานอย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะในภาคการเงิน หน่วยงานรัฐ และองค์กรระดับนานาชาติ เช่น BoE ที่ดูการใช้งาน ABMs เพื่อวิเคราะห์ภาวะเศรษฐกิจ
- การพัฒนาเชิงนโยบายและการวิเคราะห์ crisis indicators ผ่าน ABM ถูกกล่าวถึงในเอกสารต่าง ๆ เช่น Modellaccio (ใน ABM macro) และการเปรียบเทียบ ABM กับ DSGE ในงานสอน/ตำรา (Introduction to Agent-Based Economics) เพื่ออธิบายข้อดีข้อจำกัดของทั้งสองแนวทาง

5. ABM/ACE ในการใช้งานจริง: วงการศึกษาและการใช้งาน

5.1 Macroeconomics and microfoundations

- ABM macroeconomic models เน้นการสร้าง emergent properties เช่น AS-AD emergent properties และการประเมิน crisis indicators โดย Modellaccio เป็นตัวอย่าง macro ABM ที่อธิบายการเกิด emergent properties และเปรียบเทียบ ABM กับ DSGE
- ในงานวิจัยและตำราหลายฉบับ ABMs ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษา: (i) ตลาดที่ไม่ใช่ equilibrium (non-equilibrium), (ii) ลักษณะของ institutions และ market frictions, (iii) diffusion/contagion ของความเสี่ยง และ (iv) การวิเคราะห์นโยบายที่ซับซ้อนและไม่เสถียรโดยพื้นฐาน (Gallegati et al., 2017; ArXiv 2025)

5.2 การใช้งานในภาคการเงินและตลาดสินค้า

- ABM มีบทบาทสำคัญในการอธิบายพฤติกรรมตลาดการเงิน (asset pricing), risk management, และการวิเคราะห์ผลกระทบของนโยบายการเงิน/การคลังที่มีความซับซ้อน นอกจากนี้ยังประยุกต์กับการวิเคราะห์โครงสร้างตลาดและประสิทธิภาพของตลาด (ACE; Axtell & Farmer, 2025)

5.3 บทบาทในนโยบายและการกำกับดูแล

- ABMs ช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายเข้าใจการตอบสนองของระบบต่อมาตรการนโยบายและกฎระเบียบที่อาจมีผลกระทบต่อการกระจายทรัพยากรหรือความเสี่ยงระบบ โดยเฉพาะในภาคการเงิน พลังงาน และตลาดทุน ABM ช่วยจำลองสถานการณ์ crisis และการลุกลามของความเสี่ยงในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนและ interdependencies

6. ความท้าทายหลักในการพัฒนา ACE/ABM

6.1 การ validate และ calibration

- หนึ่งในประเด็นสำคัญคือการสร้างกรอบ empirical validation ที่เพียงพอและมั่นคง เนื่องจาก ABMs มักมีพารามิเตอร์หลากหลายและโครงสร้างการโต้ตอบที่มีความซับซ้อน การทดสอบกับ micro-data หรือ meso-data และการใช้วิธี cross-disciplinary methodologies จึงเป็นเรื่องจำเป็นเพื่อให้ ABMs มีความน่าเชื่อถือ (ACE; Exploring Economics)

6.2 ความสามารถในการสเกลและประสิทธิภาพ

- แพลตฟอร์ม ABM ที่ใช้งานจริงต้องสามารถรองรับการจำลองหลายหมื่นตัวแทนได้โดยไม่เสียสภาพการทำงาน การพัฒนาถึงระดับ parallelization และการใช้งาน PyPy เพื่อปรับปรุงความเร็วถือเป็นส่วนสำคัญของการทำให้ ABM สามารถใช้งานในงานวิจัยและ

การทดสอบ policy experiments ได้จริง (abcEconomics Documentation; PyPy3 performance)

6.3 ความท้าทายด้านความเชื่อถือและการตีความ

- ABMs โดยทั่วไปมักถูกมองว่าเป็นเครื่องมือเพื่อสังเคราะห์แนวคิดและการทดสอบนโยบาย แต่การตีความผลลัพธ์ต้องระมัดระวัง เพราะ emergent macro-patterns สามารถเกิดจากการตั้งค่าพื้นฐาน (initial conditions) และกฎของ agents ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (dependent on initial conditions and rules; Axtell & Farmer, 2025)

6.4 ความร่วมมือระหว่างชุมชนวิชาการ

- ACE เป็นพื้นที่ที่ต้องการการร่วมมือระหว่างนักเศรษฐศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ และนักสังคมศาสตร์ เพื่อสร้างกรอบการทดลองที่ยั่งยืนและการสื่อสารผลลัพธ์ที่ชัดเจนต่อผู้กำหนดนโยบายและสาธารณะ

7. ประเด็นนโยบายและการตีความผลต่อสังคม

ABM สามารถช่วยสร้างความเข้าใจต่อ systemic risk และ non-linear effects ในระบบเศรษฐกิจของประเทศหรือภูมิภาค ABM ยังช่วยทำ policy laboratories โดยการรัน scenarios ที่ควบคุมสำหรับการติดตามผลกระทบของมาตรการทางการเงิน การคลัง และนโยบายการค้า

อย่างไรก็ดี ควรมีกรอบการสื่อสารที่ชัดเจนเกี่ยวกับข้อจำกัด เช่น ความไวต่อ initial conditions และความเป็นไปได้ของการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ ทำให้ผู้กำหนดนโยบายเข้าใจข้อจำกัดในการสรุปผลจาก ABMs

8. ทิศทางในอนาคตและข้อเสนอเชิงปฏิบัติ

8.1 การรวม AI และการเรียนรู้ของตัวแทน

- แนวโน้มสำคัญคือการบูรณาการ reinforcement learning และ deep learning เพื่อสร้าง AI-driven agents ที่มีประสิทธิภาพและ realism มากขึ้น ABMs จะมีศักยภาพในการจำลองพฤติกรรมที่มีการปรับตัวต่อสถานการณ์ที่ไม่แน่นอนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ ABMs สามารถติดตามพฤติกรรมการเรียนรู้ของคู่ค้าหรือคู่แข่งในตลาดได้ดีขึ้น (ACE; arXiv 2025)

8.2 การพัฒนา tools และกรอบการ validation ที่เปิดเผย

- กรอบการ validation ที่ได้รับการยอมรับในชุมชนยังอยู่ระหว่างการพัฒนา แต่มีแนวโน้มที่จะมุ่งสู่การใช้ข้อมูลจริง (micro/meso data) และการสร้างมาตรฐานการเปรียบเทียบระหว่าง ABMs เพื่อให้ผลลัพธ์สามารถ reproducible

- การพัฒนาแพลตฟอร์มที่เป็น open-source และ interoperable เช่น abcEconomics และการใช้ LSD platform ในการออกแบบโมเดลร่วมกับการวิเคราะห์ทาง econometrics จะช่วยกระตุ้นการทำซ้ำและการตรวจสอบได้มากขึ้น

8.3 แนวทางการศึกษาและการสอน

- หนังสือและงานสอนที่มีอยู่ (Gallegati, Palestrini, Russo, 2017; Exploring Economics; EELISA Summer School 2026) ชี้ว่า ABM สร้างกรอบการสอนที่ให้ความสำคัญกับความเข้าใจใน macro phenomena ผ่านการทดลองแบบ bottom-up และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย econometrics และสถิติ
- สำหรับนักศึกษาปริญญาเอก/ปริญญาโท ABM เป็นแนวทางที่ช่วยให้เข้าใจระบบเศรษฐกิจที่มีความซับซ้อนและมีความไม่แน่นอนสูง ซึ่งไม่สามารถอธิบายด้วยแบบจำลอง DSGE อย่างเดียว

9. ข้อเสนอส่วนตัว (ความคิดเห็นแนวทางการพัฒนา ACE/ABM)

- ด้วยข้อมูลที่มีอยู่จากแหล่งทบทวน (ACE/ABM) เห็นชัดว่า ACE/ABM ไม่ใช่ทดแทน DSGE แต่เป็นเครื่องมือเสริมที่ขยายขอบเขตการวิเคราะห์ในกรอบความซับซ้อนและการไม่สมดุล ของระบบเศรษฐกิจปัจจุบัน
- ความท้าทายของการ validate ควรถูกแก้โดยการสร้างกรอบมาตรฐานร่วม (shared benchmarks) ที่สามารถนำไปทดสอบกับ microdata ได้จริง และมีชุดข้อมูลที่เป็นประจักษ์เพื่อประเมินพฤติกรรมของตัวแทนในสถานการณ์ต่าง ๆ
- การนำ ABM ไปใช้นโยบายควรอยู่ในบริบทของ “policy experimentation labs” ที่มีการตีความขอบเขตความไม่แน่นอนและการวิเคราะห์ความเสี่ยงอย่างรัดกุม เช่น การจำลอง crisis scenarios, ตลาดที่มี network effects และการกระจายทรัพยากรผ่านตลาด open-market
- ความมั่นใจต่อ ABMs จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปิดเผยข้อมูลการ calibration และการสาธิตผลลัพธ์ที่ reproducible โดยนักวิจัยภาคส่วนต่าง ๆ และผู้กำหนดนโยบายสามารถตรวจสอบซ้ำได้ง่าย
- ในอนาคต ABM ควรมุ่งไปสู่การเป็นส่วนหนึ่งของงานวิเคราะห์นโยบายเศรษฐกิจระดับประเทศและระดับโลก โดยร่วมมือกับหน่วยงานสาธารณะและภาคอุตสาหกรรมเพื่อสร้าง “policy laboratories” ที่สามารถทดสอบมาตรการและประเมินผลกระทบในสถานการณ์ตลาดที่ซับซ้อน

บทสรุป

ACE/ABM เป็นกรอบการศึกษาเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญและกำลังขยายตัวอย่างรวดเร็ว เน้นการพัฒนา macro-patterns ผ่านการโต้ตอบของตัวแทนที่มีความหลากหลาย รูปแบบนี้ไม่ใช่การทดแทน DSGE แต่เป็นการเสริมกรอบวิธีคิดเศรษฐศาสตร์

สมัยใหม่ที่ยอมรับความไม่แน่นอน ความไม่สมดุล และการเรียนรู้ที่ต่อเนื่อง ABM/ACE มีข้อได้เปรียบในการสังเกต emergent phenomena และให้ภาพกว้างต่อการตัดสินใจนโยบาย โดยใช้แพลตฟอร์มและเครื่องมือที่รองรับการทดลองแบบ bottom-up เช่น abcEconomics, AEX, และการเรียนรู้ด้วย RL/Deep Learning ใน agents เพิ่มเติม ความท้าทายที่สำคัญยังรวมถึงการ validate และ calibration, ความสามารถในการสเกล, และการสื่อสารผลลัพธ์ต่อสาธารณะและผู้กำหนดนโยบาย อย่างไรก็ดีแนวโน้มในอนาคตชี้ให้เห็นว่า ABM จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือวิเคราะห์เศรษฐกิจที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยร่วมมือกับกรอบทฤษฎีและข้อมูลจริงเพื่อทำให้การออกแบบนโยบายมีรากฐานที่แข็งแรงขึ้น

ข้อสังเกตสำคัญ

- ABM/ACE ถูกยืนยันในงานวิจัยหลายแขนงว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมในการศึกษา non-equilibrium dynamics และ emergent phenomena ในระบบเศรษฐกิจที่มีความซับซ้อนสูง
- เทคโนโลยี AI และ ML กำลังขับเคลื่อนความสามารถของ ABM ด้วยการเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ของตัวแทน และการประมวลผลข้อมูลที่ซับซ้อนในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง
- ความร่วมมือระหว่างนักวิชาการ ผู้กำหนดนโยบาย และอุตสาหกรรมมีความสำคัญต่อการสร้างกรอบ Validation ที่มั่นคงและการสื่อสารผลการศึกษา

แหล่งอ้างอิง (References; APA)

ACE. (n.d.). Agent-based computational economics. In Wikipedia. Retrieved May 16, 2026, from https://en.wikipedia.org/wiki/Agent-Based_Computational_Economics

Agent (economics). (n.d.). In Wikipedia. Retrieved May 16, 2026, from https://en.wikipedia.org/wiki/Agent_(economics)

Exploring Economics. (2016). Agent-based models in economics: Understanding the economy from the bottom up. Retrieved from https://www.exploring-economics.org/en/discover/agent-based-models-understanding-the-economy-from-the/

EELISA. (2026). Agent-based models in Economics: theory, toolkit and policy laboratories. Retrieved from https://eelisa.eu/events/agent-based-models-in-economics-summer-school/

Gallegati, M., Palestrini, A., & Russo, A. (2017). Introduction to agent-based economics. Read Kong (1st ed.). Retrieved from https://shop.elsevier.com/books/introduction-to-agent-based-economics/gallegati/978-0-12-803834-5

abcEconomics Documentation (Release 0.9.3b0). (n.d.). Overview of agent-based economics as described in the text. arXiv. Retrieved from https://arxiv.org/html/2507.03904v1

Axtell, R. L., & Farmer, J. D. (2025). Agent-Based Modeling in Economics and Finance: Past, Present, and Future. ComDig CSSociety. Retrieved from https://comdig.cssociety.org/2025/03/30/agent-based-modeling-in-economics-and-finance-past-present-and-future/

หมายเหตุ/คำเตือน และเอกสารอ้างอิงเพิ่มเติม:

- บทความนี้อิงจากชุดข้อมูลที่ให้มาในข้อความต้นฉบับ ซึ่งรวมถึงลิงก์หลายแหล่งที่เกี่ยวกับ ACE/ABM อย่างไรก็ดี บางแหล่งอาจไม่มีข้อมูลเชิงรายละเอียดเชิงมีเดียในฉบับที่ถูกดึงมาในชุดข้อมูล หากมีการแก้ไขหรืออัปเดตในอนาคต ควรตรวจสอบเอกสารต้นฉบับเพื่อความถูกต้องในการอ้างอิง
- เนื้อหาที่นำเสนอมีการผสมผสานระหว่างข้อมูลเชิงทฤษฎีและกรณีศึกษา/แนวทางการสอน ซึ่งมีการระบุแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน เพื่อให้ผู้อ่านเห็นภาพรวมของ ACE/ABM โดยไม่จำเป็นต้องลงรายละเอียดเชิงเทคนิคทุกขั้นตอน
- Turrell, A. (2016). Agent-based models: Understanding the economy from the bottom up. Bank of England Quarterly Bulletin, Q4 2016.
- Santa Fe Institute ABM history and foundational work on ABM in economics
- Modellaccio และ ABM macroeconomics literature: รายละเอียดเพิ่มเติมใน Introduction to Agent-Based Economics ของ Gallegati et al. (2017)