ธนาคารแห่งประเทศไทย
BANK OF THAILAND

Macro-Finance Research Workshop 2022

PIER+CMRI

Disentangling global equity market instability: a network analysis

August 16, 2022

Sirawit Woramongkhon (Bank of Thailand)

Pongsak Luangaram (Chulalongkorn University)

Supanat Kamtue (Tsinghua University)

Motivation

- Since the GFC, modelling instability in financial markets as complex ecosystems (i.e. financial network) has been proposed but a general understanding of precisely how network topology creates instability remains imperfectly understood. [See overview paper on 'Systemic Risk in Financial Network' by Jackson and Pernoud (2021)]
  - Haldane (2009, 'Rethinking the Financial Network): financial networks have the property of being 'robust-yet-fragile' in the sense that "within a certain range, connections serve as shock-absorbers [and] connectivity engenders robustness. However, beyond that range, interconnections start to serve as a mechanism for the propagation of shocks, 'the system [flips to] the wrong side of the knife-edge,' and fragility prevails."
  - This idea has been developed rigorously by Acemoglu et al. (2015, 'Systemic Risk and Stability in Financial Network') to study the the role of the interbank networks as shock propagation and amplification mechanisms.
- Based on similar concept of market instability, our paper makes use of recent literature on applied mathematics, i.e. network geometry to study the instability of global equity market.

Motivation

- Studies of financial network and market instability are not only limited to economists but also quite an active area among network scientists.
- While introduced long ago by Gauss & Riemann, curvature is a central geometry concept that quantifies the extent to which a space is curved, a recent focus in network science has been the development of ‘geometry-based measures’ to characterize the structure of complex networks.
- Recent advances in network science suggest that higher-order architecture of complex financial systems can significantly enhance our ability to estimate systemic risk as well as measure the robustness of financial systems. For example,
  - Sandu et al. (2016, ‘Ricci curvature: An economic indicator for market fragility and systemic risk’): Ricci curvature, a key geometric feature of a given network, is negatively correlated to increases in network fragility.
  - Samal et al. (2021, ‘Network Geometry and Market Instability’): Geometry- inspired network measures, such as the Ollivier–Ricci curvature and Forman–Ricci curvature, can be used to capture the network fragility and continuously monitor financial dynamics.
  - However, both works do not provide explicit conditions under which financial connectedness can become either shock absorbers or shock amplifiers as well as the underlying sources of market instability.

Research objectives and contributions

Our goal is to propose a novel analytical method based on the concept of network flows and to construct an indicator that reflects the conditions under which the system could either amplify or absorb shocks. Our flow quantifier is heavily inspired by inbound and outbound-edge Forman-Ricci curvature.

- Recent work on (in)stability analysis by Sandhu et al. (2016) was conducted via Ollivier-Ricci curvature. However, such an approach limits our concentration to systemic pairwise correlation rather than tail risk, and requires exhaustive computation time.
- The Forman-Ricci curvature stands out as an attractive alternative as its formula is simple yet powerful. The formula involves the concept of ‘inflow’ and ‘outflow’ between relationship. Despite its advantage, it may not be able to effectively capture the asymmetric relationship between assets.
- Therefore, we develop our concept of flows between variables and design the underlying shock process in order to best capture the actual behavior as well as create a(n) (in)stability indicator. Our methodology greatly resembles the concept of inflow and outflow described in the Forman-Ricci curvature, but our calculation differs.

การวิเคราะห์ใช้ข้อมูล daily return จาก MSCI index รายประเทศ เพื่อสะท้อนพฤติกรรมของ stock market ในแต่ละประเทศ

ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์

1. คำนวณ simple daily return จาก MSCI index
   - 6 economies
   - 21 developed markets
   - 21 emerging markets
2. ข้อมูลเริ่มจาก 1995-01-09 ถึง 2021-07-29 และมักใช้เพื่อสะท้อน performance ในตลาดหุ้นของแต่ละประเทศ

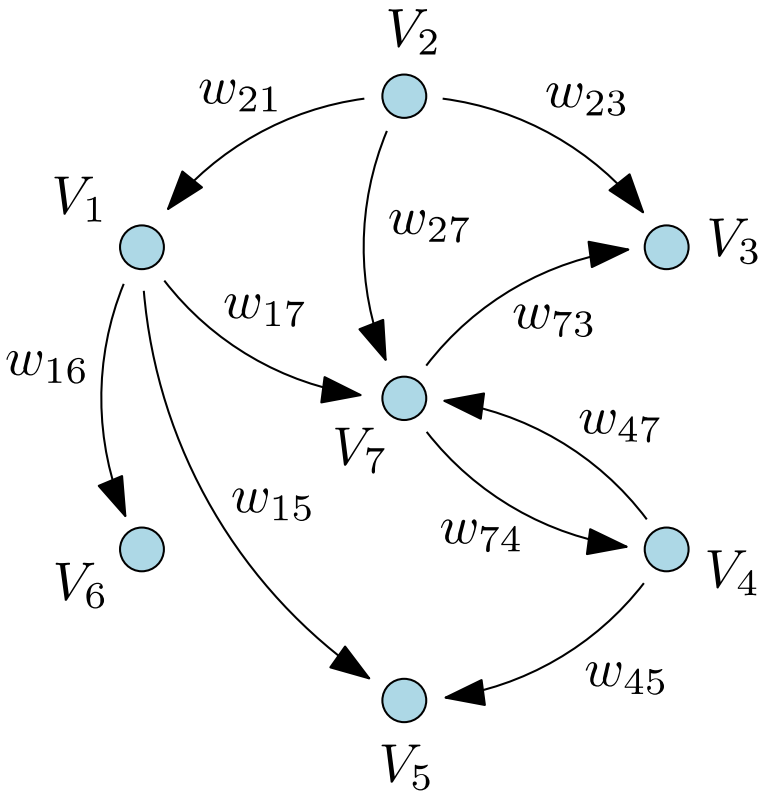
MSCI WORLD INDEX			MSCI EMERGING MARKETS INDEX		
DEVELOPED MARKETS			EMERGING MARKETS		
Americas	Europe & Middle East	Pacific	Americas	Europe, Middle East & Africa	Asia
Canada	Austria	Australia	Argentina	Czech Republic	China
United States	Belgium	~~Hong Kong~~	Brazil	Egypt	India
	Denmark	Japan	Chile	~~Greece~~	Indonesia
	Finland	New Zealand	Colombia	Hungary	Korea
	France	Singapore	Mexico	~~Kuwait~~	Malaysia
	Germany		Peru	Poland	Pakistan
	Ireland			~~Qatar~~	Philippines
	Israel			Russia	Taiwan
	Italy			~~Saudi Arabia~~	Thailand
	Netherlands			South Africa	
	~~Norway~~			Turkey	
	Portugal			United Arab Emirates	
	Spain				
	Sweden				
	Switzerland				
	United Kingdom				

หมายเหตุ. พิจารณาตัดบางประเทศจากการวิเคราะห์เนื่องจากข้อมูลไม่ครบ

ภาพประกอบจาก MSCI

งานวิเคราะห์ต้องการสะท้อนความสัมพันธ์เชิง Network ระหว่าง Asset ต่างๆ ที่พิจารณาถึง asymmetry และ unequal impact แต่ยังจำกัดอยู่ที่ probabilistic influence

ตัวอย่าง Network ระหว่าง Asset



ลักษณะที่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์

1. บาง Asset เช่น V1 หาก index มีการเคลื่อนไหวอย่างฉับพลัน อาจส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนไหวของ index ในสินทรัพย์อื่นๆ
2. บาง Asset เช่น V7 หาก index มีการเคลื่อนไหวอย่างฉับพลัน อาจส่งผลกระทบ**อย่างจำกัด**ต่อการเคลื่อนไหวของ index ในสินทรัพย์อื่นๆ
3. อิทธิพลของการเคลื่อนไหวอย่างฉับพลันระหว่าง Assets มีลักษณะไม่สมมาตร เช่น หาก V4 เคลื่อนไหวอาจส่งผลกระทบอย่างมากต่อ V7 แต่ผลจาก V7 ไปยัง V4 อาจมีจำกัด

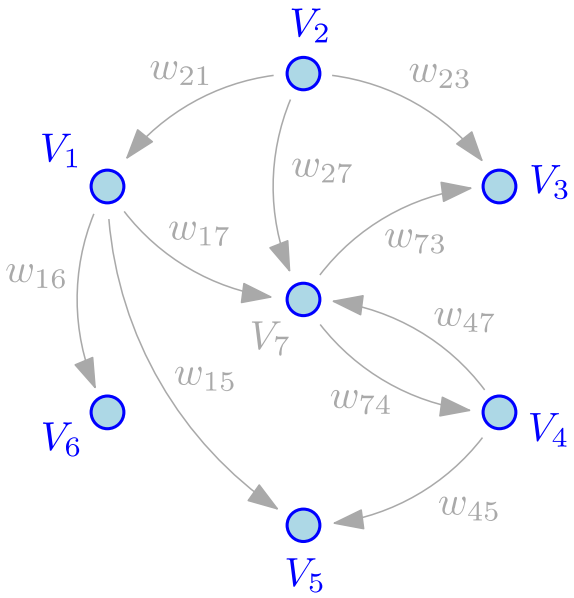
หมายเหตุ. ภาพประกอบเพื่อการสาธิตเท่านั้น

นิยาม สินทรัพย์**เคลื่อนไหวอย่างฉับพลัน** เมื่อคะแนน z-score ของ Daily Return Difference ไม่อยู่ระหว่าง -2 ถึง 2

Source of Instability

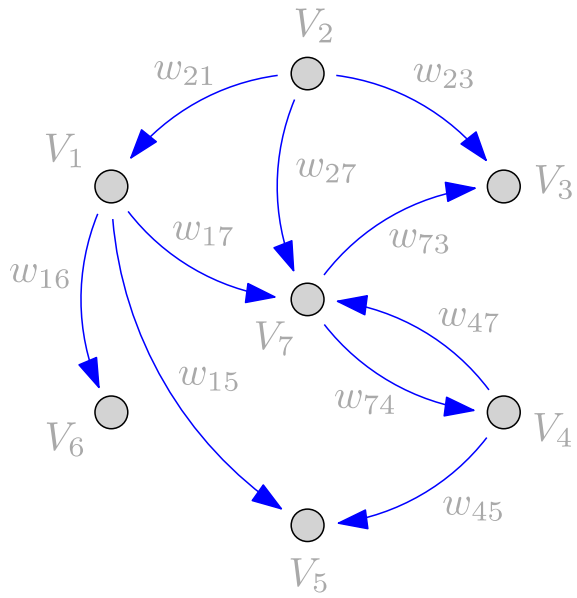
Asset

ปัจจัยเฉพาะของแต่ละ Asset



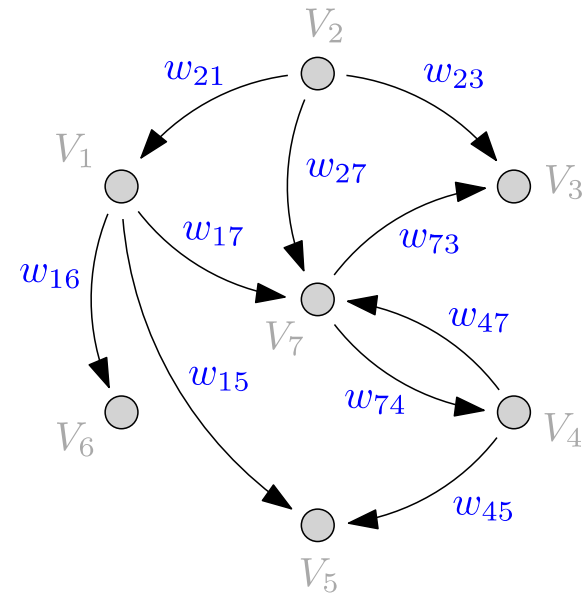
Distribution

ลักษณะการกระจายตัวของ impact transmission



Relationship

ปัจจัยเฉพาะของแต่ละความสัมพันธ์



Flow Concept

การคำนวณ Flow ระหว่างคู่ Asset i และ j

$$F_{i,j} = \frac{M_i m_j}{R_{i,j}^2} \qquad \text{(Flow)}$$

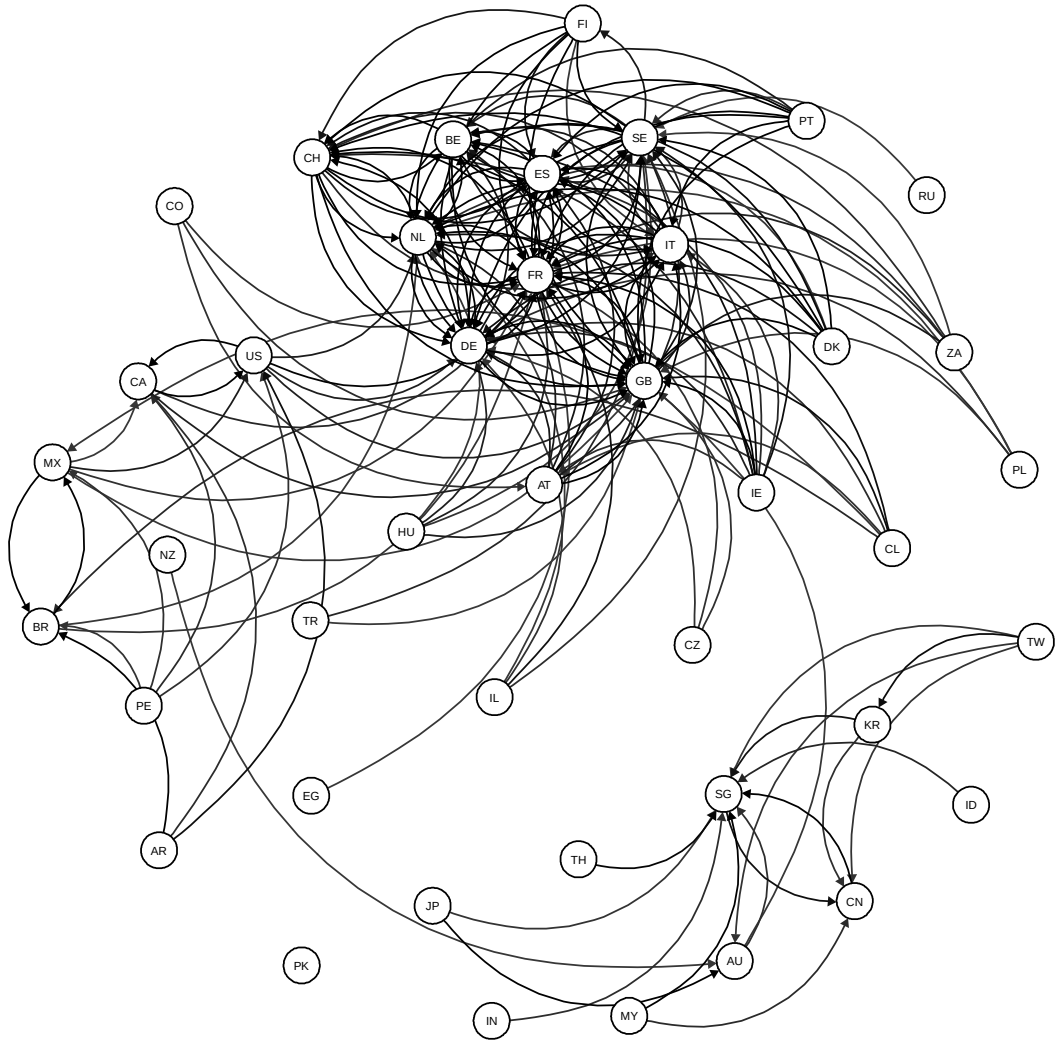
$$M_i = \sum_k p_{k,i} \qquad \text{(Asset } i\text{'s influence)}$$

$$m_j = \sum_k p_{j,k} \qquad \text{(Asset } j\text{'s influence)}$$

$$R_{i,j} = \frac{1}{p_{i,j}} \qquad \text{(Relationship's strength)}$$

$$p_{i,j} = \frac{\sum_t I_{t,i} I_{t,j}}{\sum_t I_{t,i}} \qquad \text{(Conditional probability)}$$

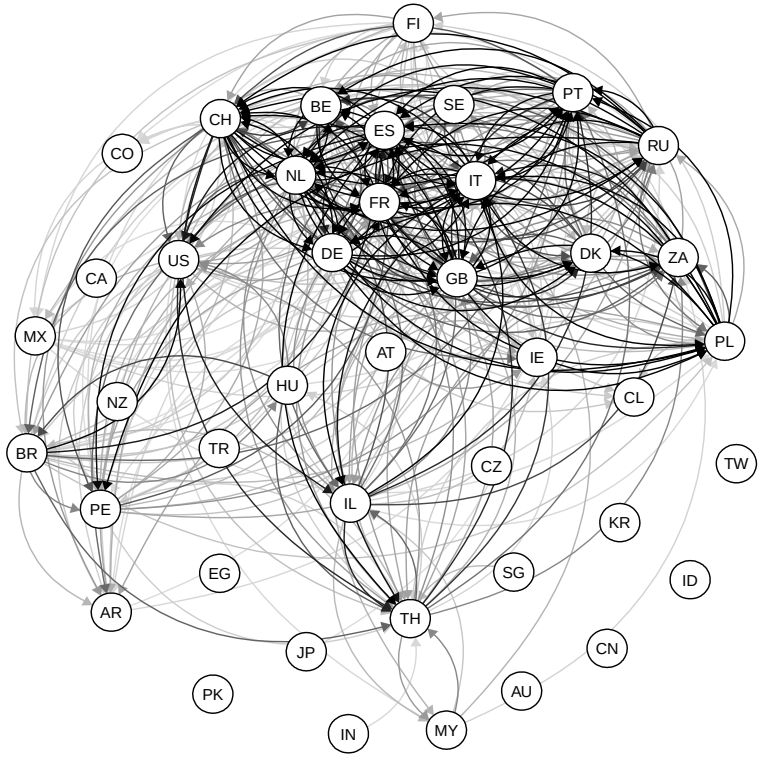
$$I_{t,i} = \text{indicator whether asset i jumps at time } t$$



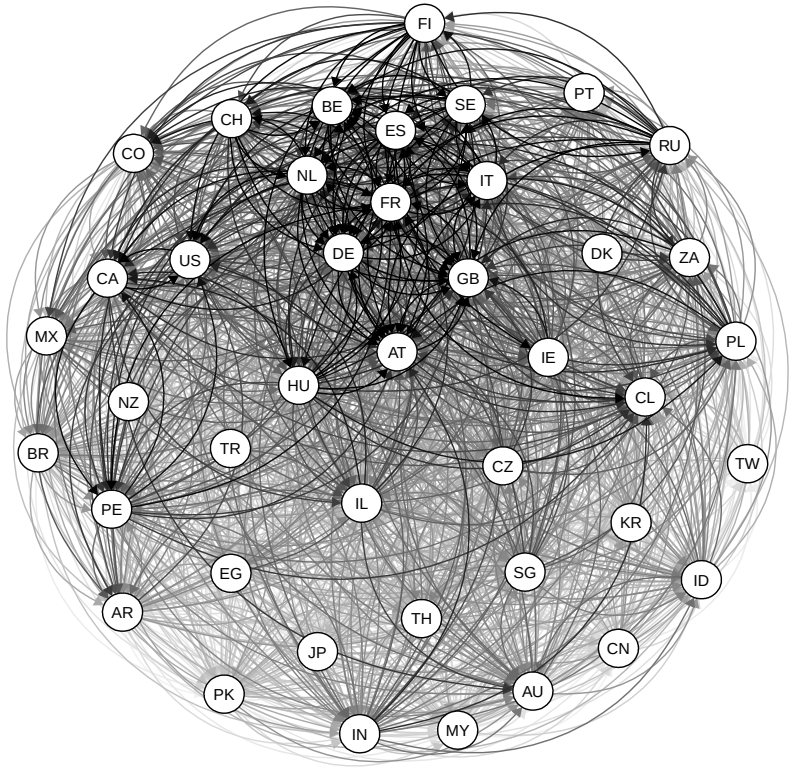
นิยาม สินทรัพย์**<u>เคลื่อนไหวอย่างฉับพลัน (jump)</u>** เมื่อคะแนน z-score ของ Daily Return Difference ไม่อยู่ระหว่าง -2 ถึง 2

ตัวอย่าง Flow

Pre COVID−19



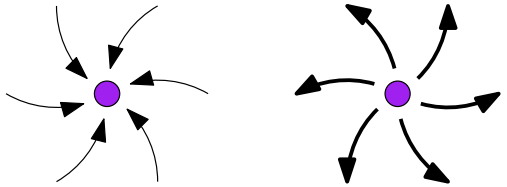
During COVID−19



Source of Instability: flow shock process

Asset (Matrix N)

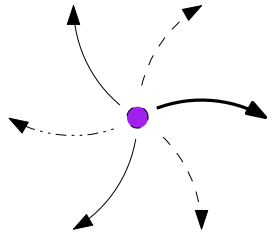
การขยาย/ลดความเสี่ยงของแต่ละ Asset



สูตร $$N_{i,i} = \frac{\sum_k F_{k,i}}{\sum_k F_{i,k}}$$

Distribution (Matrix U)

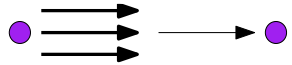
ลักษณะการกระจายตัวของความเสี่ยง



สูตร $$U_{i,j} = \frac{F_{i,j}}{\sum_k F_{i,k}}$$

Relationship (Matrix E)

การขยาย/ลดความเสี่ยงจากปัจจัยเฉพาะของแต่ละความสัมพันธ์



สูตร $$E_{i,j} = \left[\frac{\sum_k F_{i,k}}{\sum_k p_{i,k}}\right] / \left[\frac{\sum_k F_{k,j}}{\sum_k p_{k,j}}\right]$$

Flow Shock Process

$$S_k = E \circledast (U^T N) S_{k-1}$$

$\circledast$ denotes element-wise multiplication

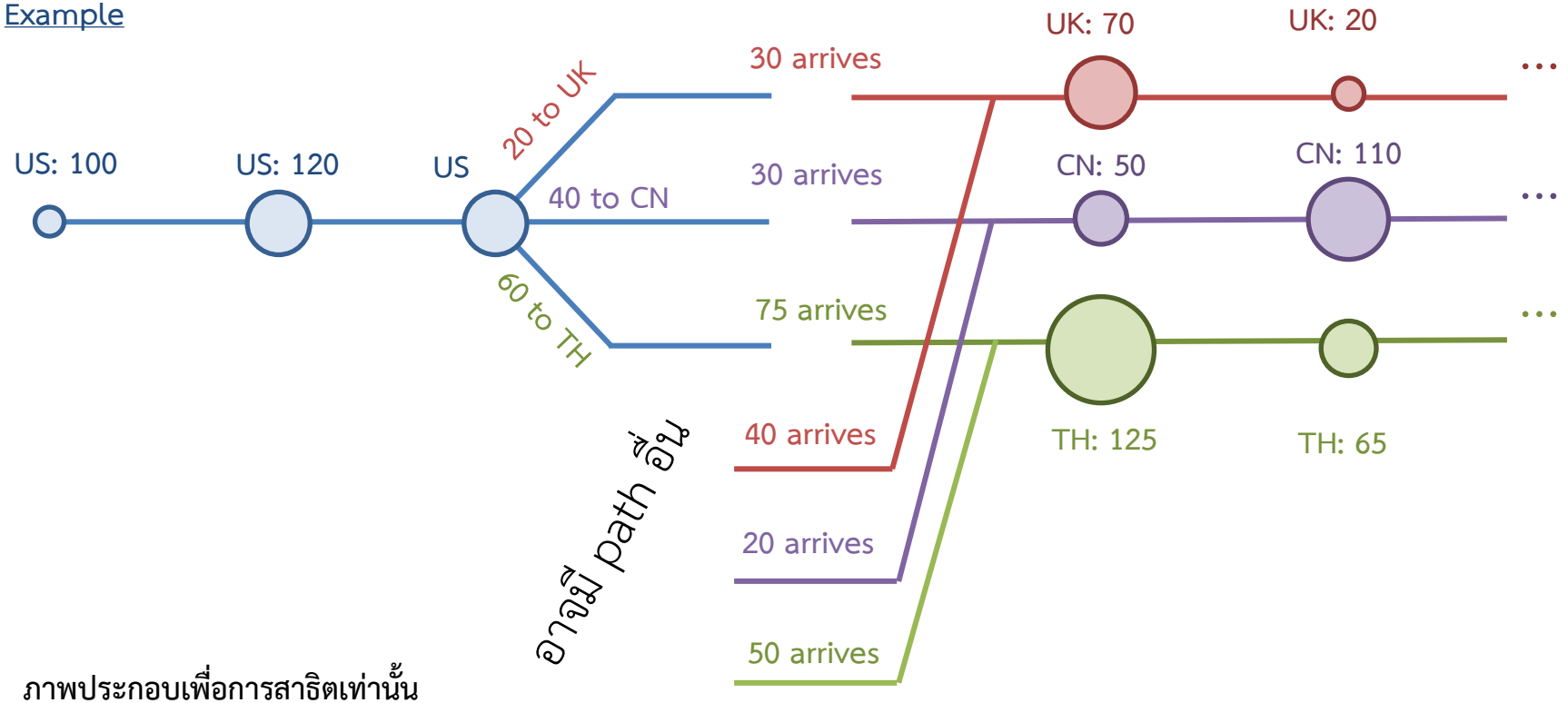
$S_k =$ Flow vector (shock process)

นิยาม Financial Stability คือระบบการเงินสามารถรองรับการลุกลามของ shock ซึ่งไม่ทำให้เกิด explosive path นั่นคือ shock จะหายไปเมื่อเวลาผ่านไป

Shock process based on flow concept

Start	Asset	Distribution	Relationship	Aggregation	Asset	...	Eventually

Example



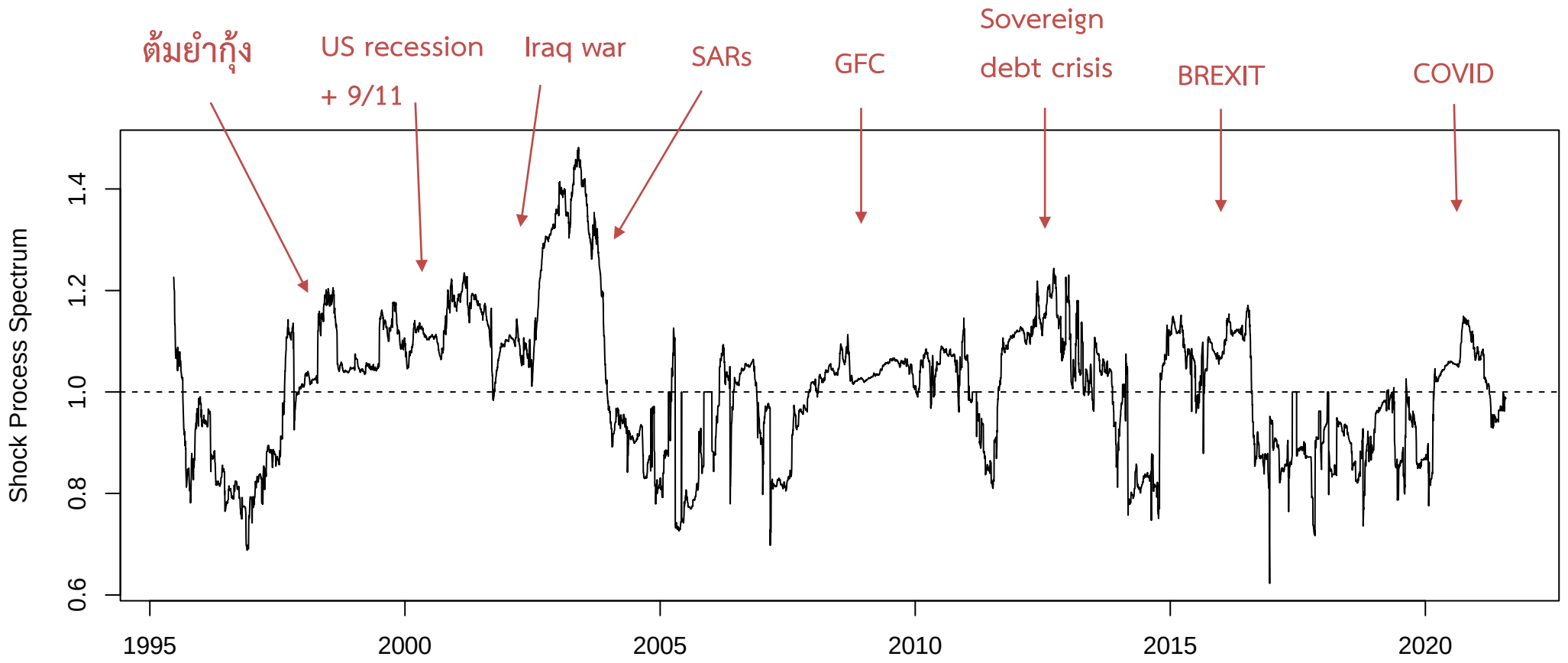
Financial Stability เกิดขึ้น เมื่อ shock ทั้งหมดหายไปจากระบบ

แต่หาก shock มีขนาดใหญ่ขึ้น เรื่อย ๆ จะเรียกว่าเกิด Instability

ภาพประกอบเพื่อการสาธิตเท่านั้น

Stability Indicator คำนวณจาก Shock flow process ค่าบวกสะท้อน instability

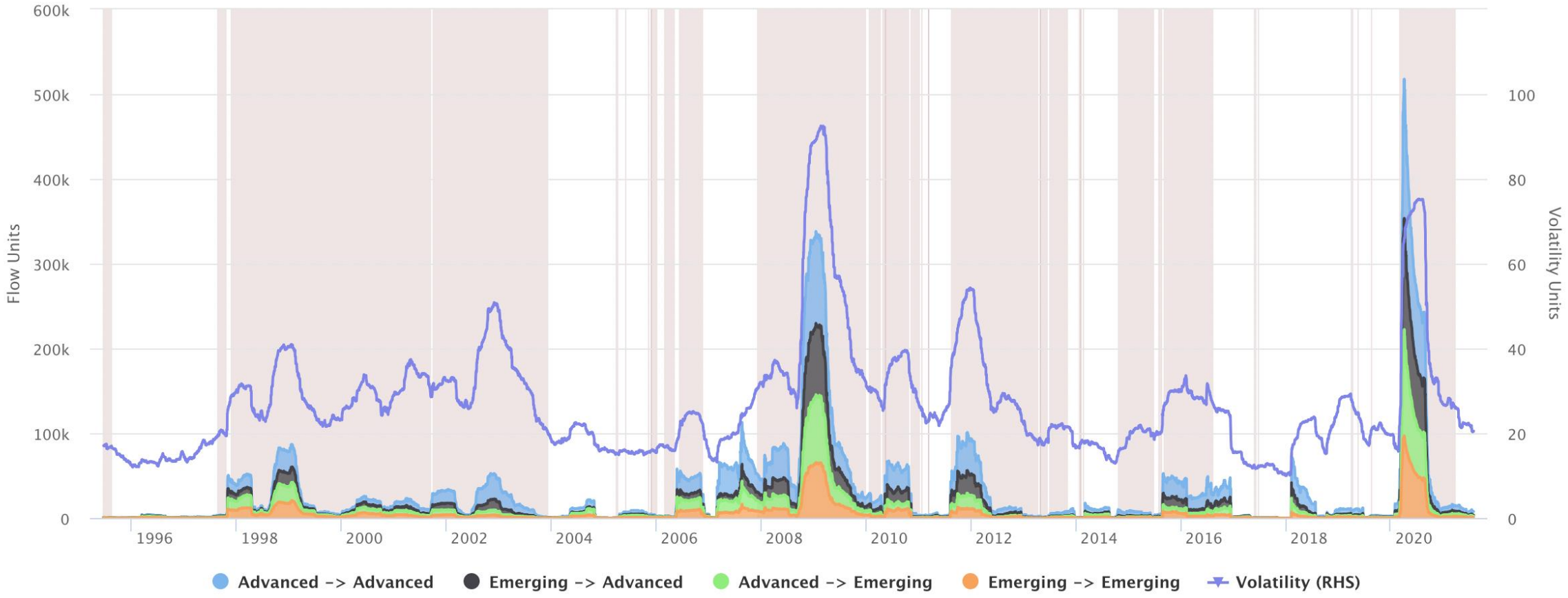
ความเปราะบางของภาคการเงินสอดคล้องกับเหตุการณ์สำคัญที่เกิดขึ้นบนโลก



หมายเหตุ. Stability Indicator คำนวณจาก 120-day rolling daily return ของ MSCI Index จาก 42 ประเทศ

Total Systemic Flows อาจสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องชี้ความผันผวนของระบบการเงิน

เปรียบเทียบ Total Flows (กราฟพื้นที่, LHS) ที่คำนวณจากข้อมูลรายประเทศ และ
Systemic Volatility (กราฟเส้น, RHS) ที่คำนวณจากข้อมูล MSCI Global Equity Index



สมการการคำนวณ Contribution

หลักการคำนวณ

Contribution to change in stability

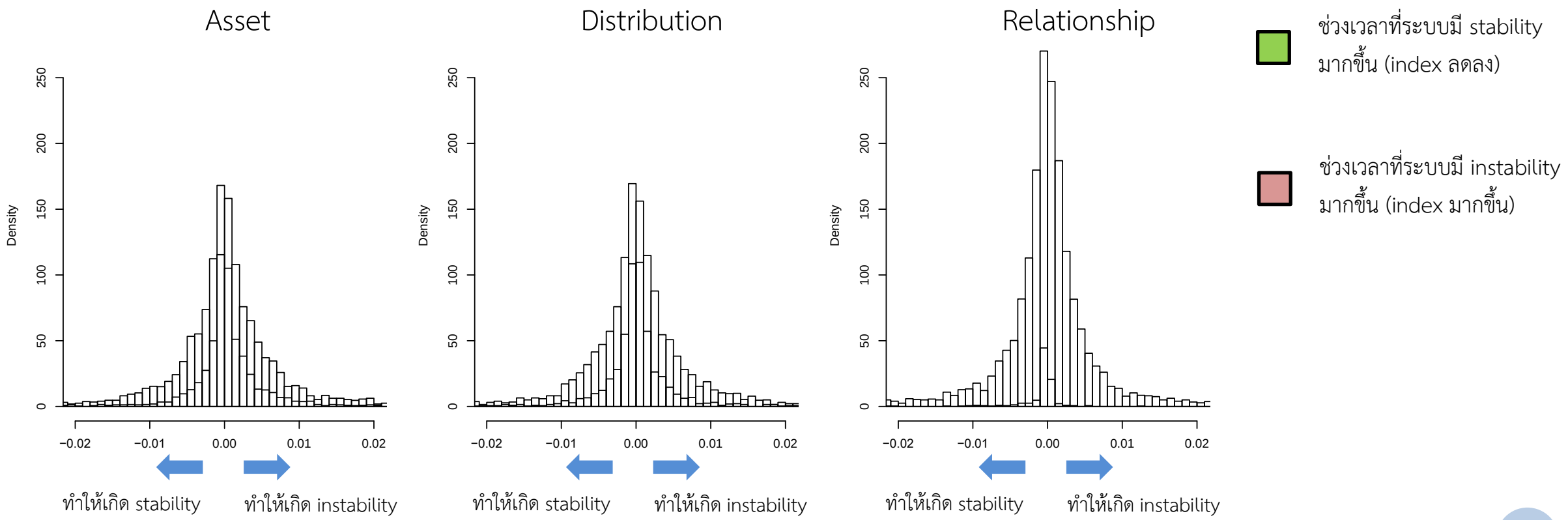
$$f(\boldsymbol{e}_2, \boldsymbol{u}_2, \boldsymbol{n}_2) \approx f(\boldsymbol{e}_1, \boldsymbol{u}_1, \boldsymbol{n}_1) + \sum_{\boldsymbol{k} \in \{\boldsymbol{e}, \boldsymbol{u}, \boldsymbol{n}\}} (\boldsymbol{k}_2 - \boldsymbol{k}_1) \frac{\partial f}{\partial \boldsymbol{k}} (\boldsymbol{e}_1, \boldsymbol{u}_1, \boldsymbol{n}_1).$$

<u>ข้อสังเกต และ remark ที่สำคัญ</u>

1. ฟังก์ชัน f เป็นฟังก์ชันที่ domain เป็นสามสิ่งอันดับของ Matrix N, U และ E และ co-domain ของ f เป็น Shock process spectrum
2. การประมาณค่าของ Contribution คำนวณจาก first-order Taylor's approximation
3. การประมาณค่าของ partial derivatives คำนวณจาก finite difference เนื่องจากฟังก์ชัน f เป็นฟังก์ชัน analytical almost everywhere

ปัจจัยด้าน Asset, Distribution, และ Relationship มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ Stability ต่างกัน

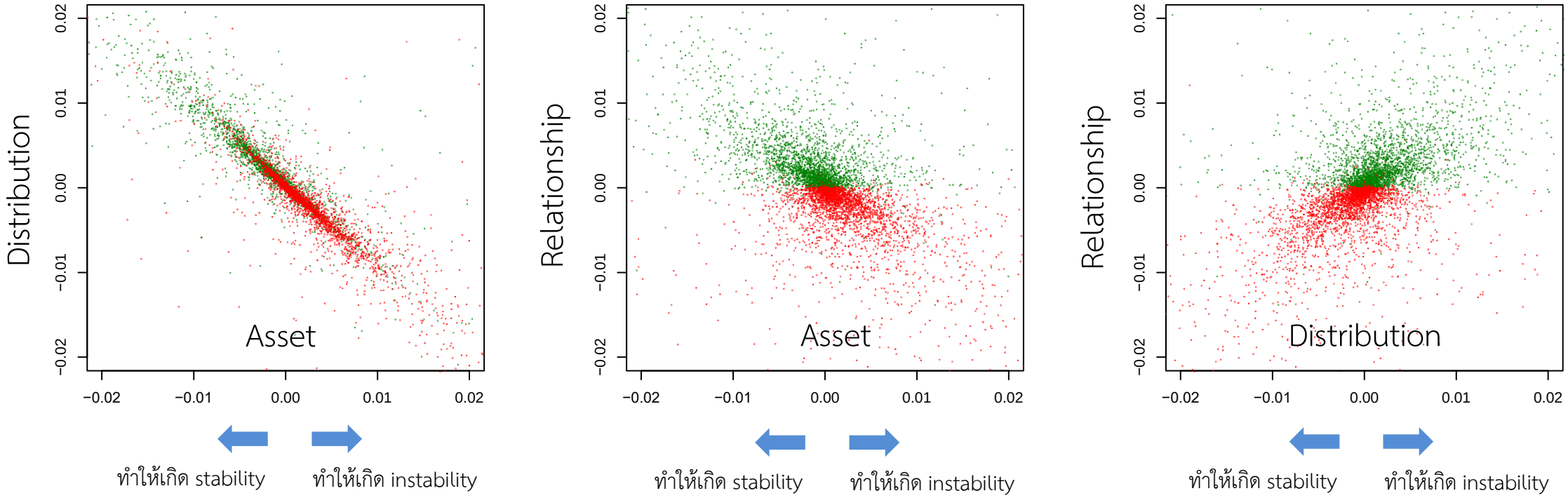
Contribution แยกตาม source of instability และตามการเปลี่ยนแปลงของ stability (index)



ปัจจัยด้าน Asset, Distribution และ Relationship มีความสัมพันธ์กัน

Contribution to stability
ระหว่าง Asset และ Distribution
มีความสัมพันธ์ทางลบ

Contribution to stability ระหว่าง Relationship และ ปัจจัย Asset/Distribution
มีความสัมพันธ์ที่ไม่ชัดเจนเท่ากับความสัมพันธ์ระหว่าง Asset และ Distribution



ช่วงเวลาที่ระบบมี stability มากขึ้น (index ลดลง)

ช่วงเวลาที่ระบบมี instability มากขึ้น (index มากขึ้น)

Conclusions and Applications

ข้อสรุปสำคัญ

❖ งานศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบต่อความเปราะบางของเสถียรภาพระบบตลาดทุนของ

1. ปัจจัยเฉพาะของตลาดทุนในแต่ละประเทศ
2. การกระจายตัว หรือลักษณะการส่งผ่านผลกระทบไปยังตลาดทุนประเทศอื่น
3. ความสัมพันธ์ระหว่างตลาดทุนในแต่ละคู่ประเทศ

พบว่าแต่ละ instability source มีผลกระทบ และความสัมพันธ์ซึ่งกันละกัน โดย Pairwise relationship ระหว่าง assets มักมีผลต่อไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของเสถียรภาพ ขณะที่อีก 2 sources มักมี contribution ที่ offset กัน

❖ เครื่องชี้ Shock Price Process Spectrum สามารถนำมาพิจารณาสะท้อนเสถียรภาพระบบตลาดทุนได้

❖ การคำนวณ Flow จาก conditional probability ของการเกิด concurrent price jump สามารถพิจารณา Asymmetric probabilistic influence ระหว่างตัวแปรได้