

# Welcome !

## (7th)–informal workshop

“Variety and universality of **Bulk-Edge Correspondence** in topological phases:

From solid state physics to trans-disciplinary concepts”

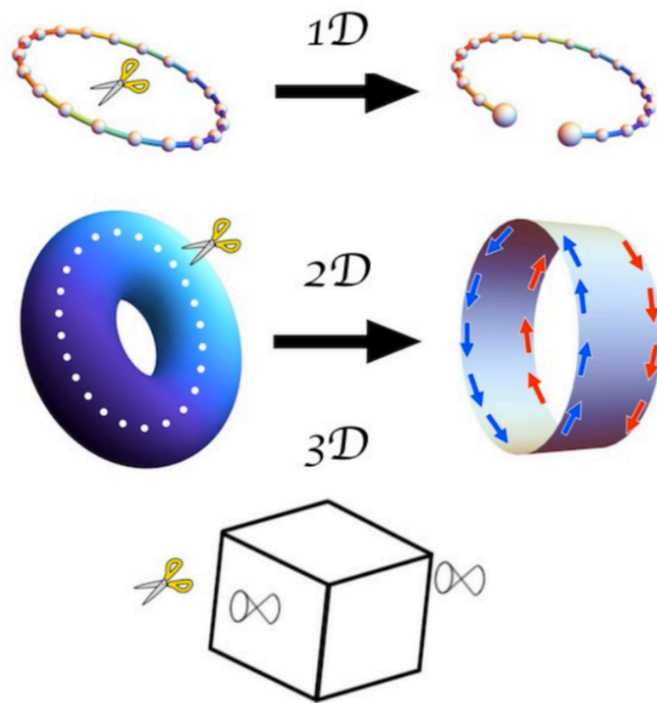
トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性

固体物理を越えて分野横断へ

# Yasuhiro Hatsugai

Department of Physics

University of Tsukuba



“Variety and universality of **Bulk-Edge Correspondence** in topological phases:  
From solid state physics to trans-disciplinary concepts”

Grant-in-Aid for Scientific Research (S) Project No.17H06138

- ① // トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性  
固体物理を越えて分野横断へ

科研費基盤S

**Past & Future”**

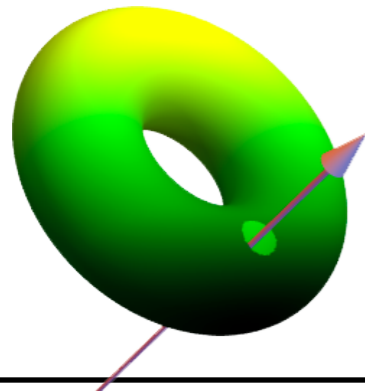
- ② 本科研に関する代表等（筑波大学）の成果（2020）

**Yasuhiro Hatsugai**

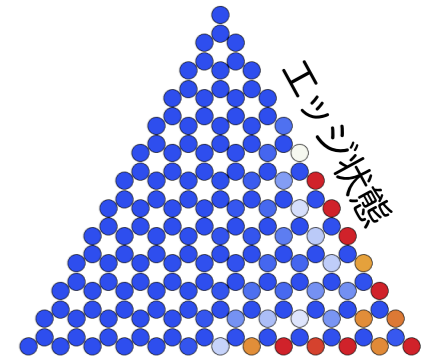
Department of Physics  
University of Tsukuba

# トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性








## 固体物理を越えて分野横断へ



採択時 2017年5月31日



2017年度～2021年度 (5年間)

研究代表者 <b>代</b>	筑波大学		初貝 安弘	物性理論
研究分担者 <b>分</b>	京都大学		高橋 義朗	冷却原子実験
	広島大学		木村 昭夫	放射光ARPES実験
	茨城大学		福井 隆裕	物性理論 (場の理論)
	東邦大学		河原林 透	物性理論 (数値的研究)
	東京大学		青木 秀夫	物性理論 (電子相関)
	東京大学		岩本 敏	光エレクトロニクス
連携研究者 <b>連</b>	東京大学		古田 幹雄	低次元位相幾何学
	京都大学		小林 淳	冷却原子実験
	京都大学		中島 秀太	冷却原子実験
	広島大学		井村 健一郎	物性理論 (トポロジカル絶縁体)
	物質材料機構		苅宿俊風	物性理論 (古典力学)

2017 2018 2019 2020 2021

# 研究目的

# バルク・エッジ対応

# ヒアリング

代 初貝が24年前に提唱 Y. Hatsugai, Phys. Rev. Lett. 71, 3697 (1993)

若手研究者3名雇用

展開

1992年奨励研究(A)  
「電子系スピン系におけるトポロジカル効果」  
の成果

助教 A

2014.4~2017.3

助教 B

研究 (A)

助教 C

冷却原子実験

高橋 小林 中島 大学院学生

トポロジカル相  
の理論

河原林 大学院学生 初貝  
青木 福井

放射光ARPES実験

木村 大学院学生

フォノン  
古典振動子系

大学院学生 初貝 苅宿

フォトニック結晶  
光

大学院学生 初貝 岩本

数学 現象を基に異分野交流  
展開を目指す

河原林 井村 苅宿 初貝 古田 福井

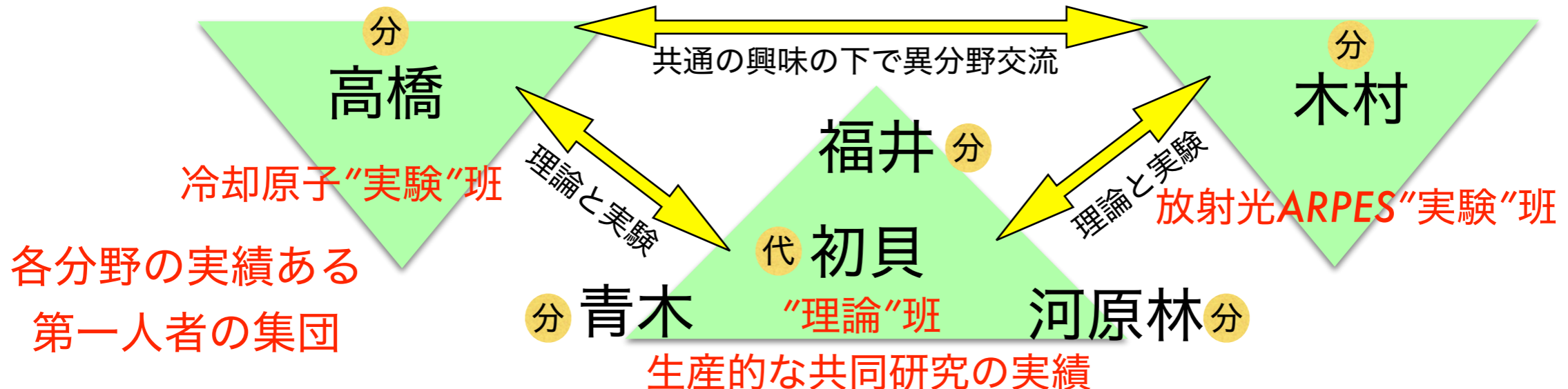
連携を深化

基盤研究 (S)

2017.4-2022.3

分野拡大, 異分野融合へ

研究代表と研究分担者, 連携, 新規雇用を含めて展開を目指す



# 研究目的

# バルク・エッジ対応

# ヒアリング

代 初貝が24年前に提唱 Y. Hatsugai, Phys. Rev. Lett. 71, 3697 (1993)

若手研究者3名雇用

展開

1992年奨励研究(A)  
「電子系スピン系におけるトポロジカル効果」  
の成果

助教 A

2014.4~2017.3

助教 B

井村

研究 (A)

助教 C

冷却原子実験

トポロジカル相

放射光ARPES実験

高橋 小林 中島 大学院

基盤研究(S)後の  
将来の展望

木村 大学院学生

大学院学生  
フォノニック  
初貝  
古典振動子系

数学 現象を基に異分野交流  
展開を目指す  
井村 古田 福井

連携を深化

基盤研究 (S)

分野拡大, 異分野融合へ

2017.4-2022.3

多様性の確認から普遍性の確立へ

新学理の構築

# バルク・エッジ対応 (Bulk-edge correspondence) の科学

社会還元, 工学応用 (革新的産業技術への展開)

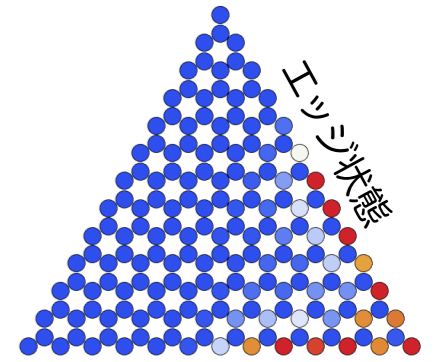
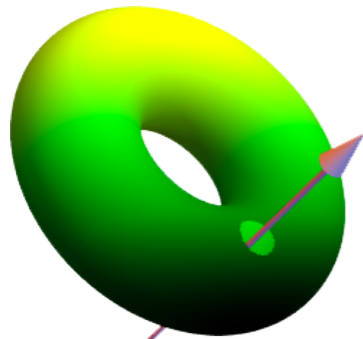
連 岩本 (東大生研)

研究の  
波及効果

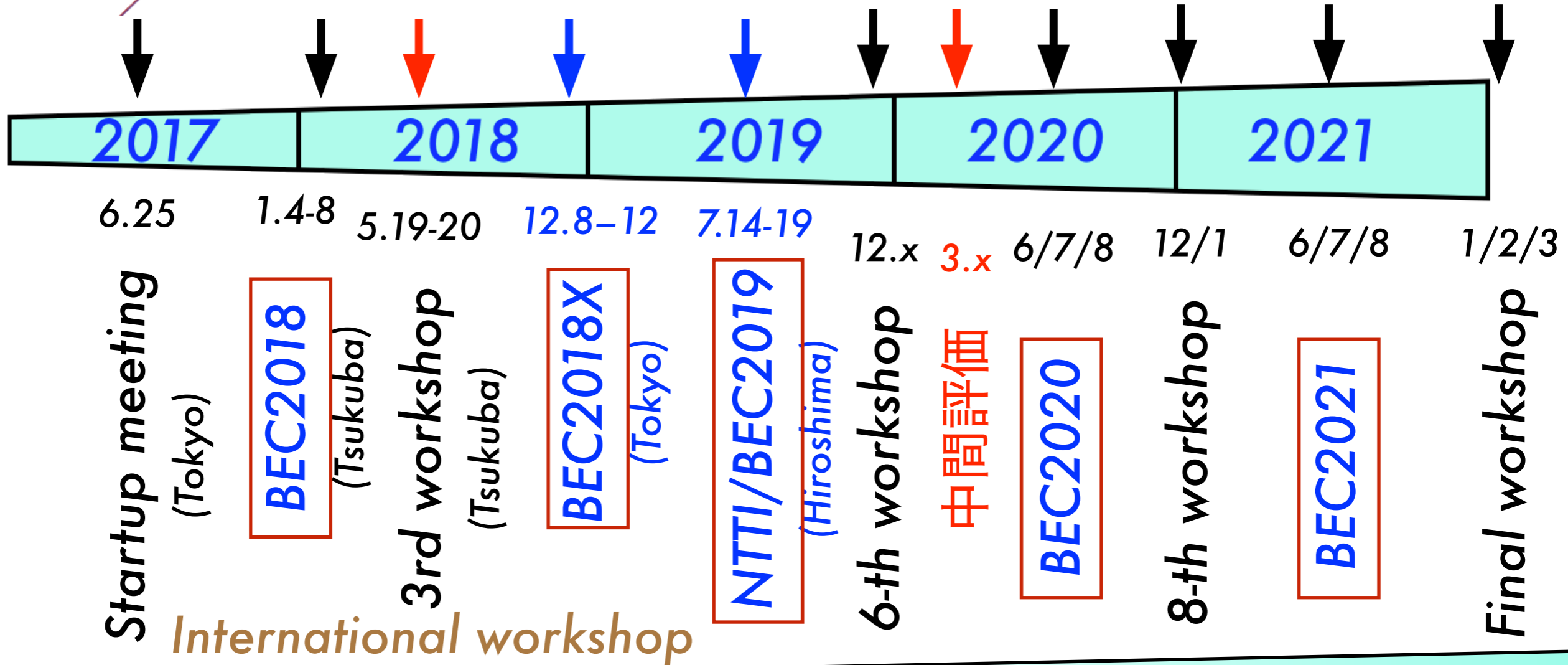
- ☆外乱で散乱されないカイラルな (一方向の) エッジ状態を用いた光通信
- ☆熱散逸のない電子デバイス: エッジ状態を用いて減衰しない配線を実現
- ☆構造力学への応用: 力学的エッジ状態の制御

# トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性

## 固体物理を越えて分野横断へ



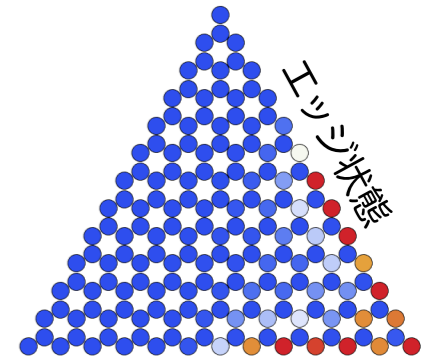
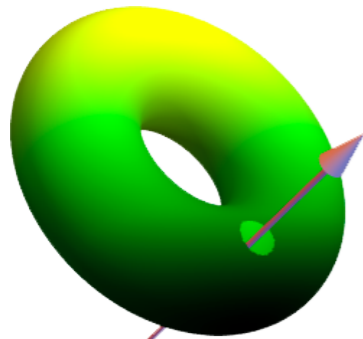
2017年度～2021年度 (5年間)



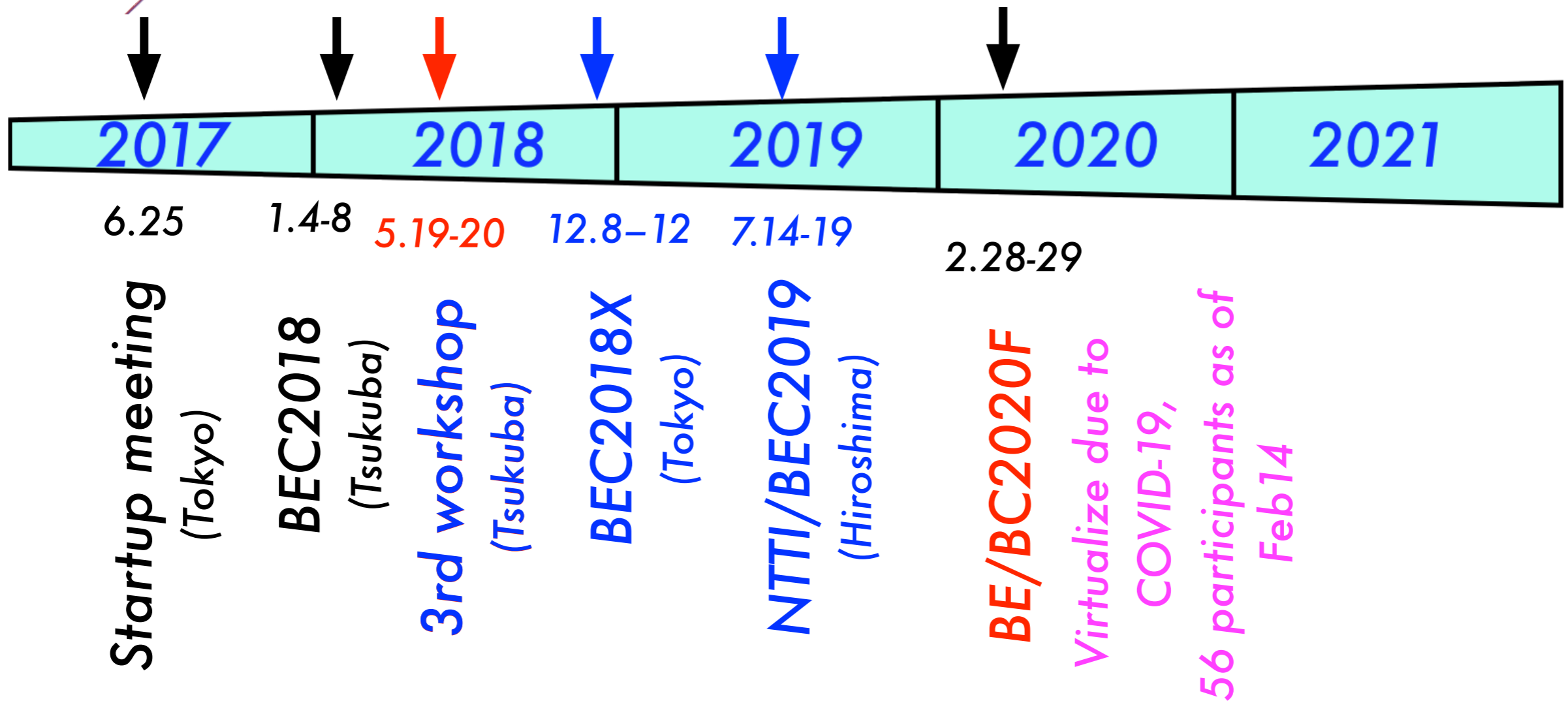
次の展開/申請

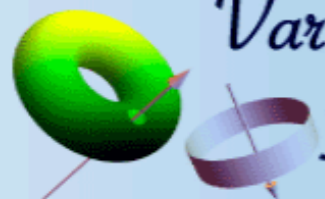
# トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性

## 固体物理を越えて分野横断へ



2017年度～2021年度 (5年間)





BEC series

[\[MENU\]](#) [\[RSS\]](#)

[Home](#)

[BE/BC2020F](#)

[Scope](#)

[Date](#)

[Venu/travel](#)

[Accommodation](#)

[Registration](#)

[Organizers](#)

[Invited  
speakers](#)

[Program](#)

[Virtual  
workshop  
\(NEW\)](#)

[Participants  
\(virtual\)](#)

[Social events](#)

[Supports](#)

[BEC2019 with  
NTTI](#)

[BEC2018X](#)

[BEC2018-Jan](#)

[YITP Workshop  
BEC2016](#)

[BEC2015](#)

## BE/BC2020F

**Due to the Coronavirus problems in Japan, it is our real regret to announce that we cancel the BE/BC2020F meeting and make it virtual only within the registered participants as of**

**Feb.21, 2020.**

**(decided on Feb.24, 2020)**

**International workshop**

**"Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases:**

**From solid state physics to transdisciplinary concepts"**

**[ BE/BC2020F (Bulk-Edge/Boundary Correspondence) ]**

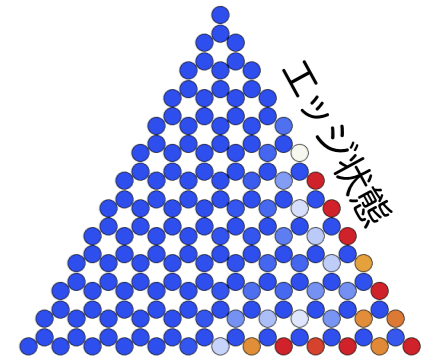
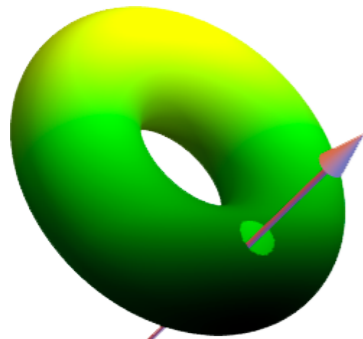
**Feb. 28-29, 2020**



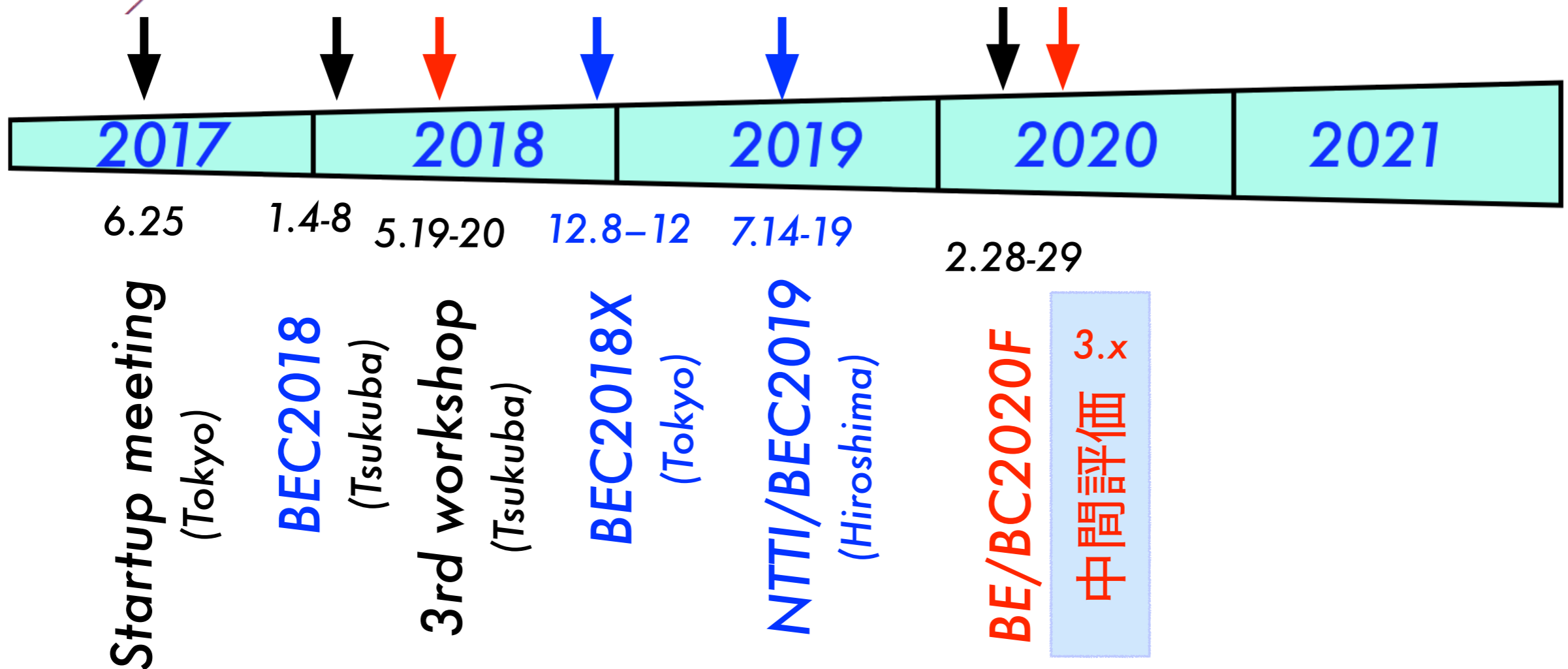


# トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性

## 固体物理を越えて分野横断へ

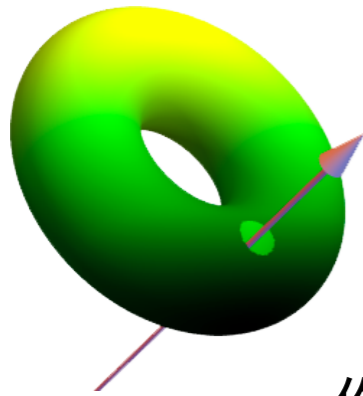


2017年度～2021年度 (5年間)

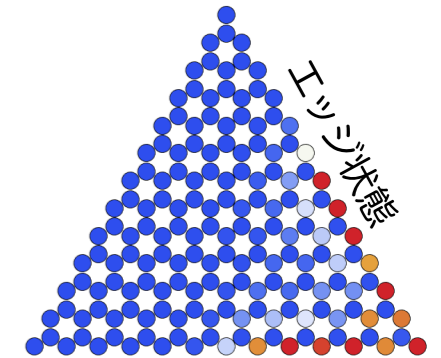


# トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性

## 固体物理を越えて分野横断へ



研究進捗評価 令和2年3月提出



作成の為の情報提供大変ありがとうございました。

全2ページ

全51ページ

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔令和2（2020）年度 研究進捗評価用〕

【研究代表者・所属研究機関控】

3版

基S進捗-1-1

近々公開されます

平成29年度採択分  
令和2年3月31日現在

令和2（2020）年度科学研究費助成事業（基盤研究（S））研究進捗状況報告書

令和2年 3月31日現在

トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性：  
固体物理を越えて分野横断へ

Variety and universality of bulk-edge correspondence in  
topological phases:

From solid state physics to transdisciplinary concepts

課題番号：17H06138

初貝 安弘 (HATSUGAI, YASUHIRO)

筑波大学・数理物質系・教授



研究の概要（4行以内）

端を見て中身を考える「バルク・エッジ対応」はバルクに特徴を持たないトポロジカル相の本質である。冷却原子実験と角度分解光電子分光実験をバルク・エッジ対応の理論で概念の普遍性を追求する立場から繋ぐ試みを、非量子系であるフォトリック結晶やマクロな周期的古典力学系にまで拡張し、更に数学者等との連携も模索し物理学を越えた分野横断的学理を構築する。

研究分野：物性基礎論

キーワード：バルク・エッジ対応、トポロジカル相

課題番号	17H06138		
ローマ字	Hatsugai Yasuhiro		筑波大学・数理物質系・教授
1. 研究代表者氏名	初貝 安弘		2. 所属研究機関・部局・職
3. 研究課題名	和文	トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性：固体物理を越えて分野横断へ	
	英文	Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts	

令和2年10月8日通知

研究進捗評価

近々公開されます

【令和2(2020)年度 研究進捗評価結果】

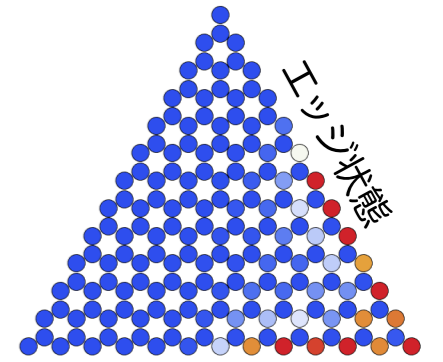
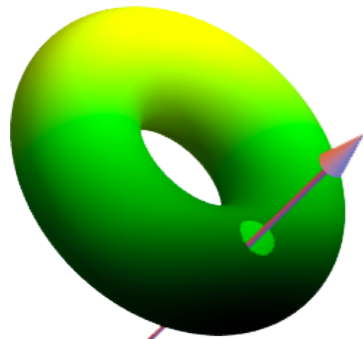
評価		評価基準
○	A+	当初目標を超える研究の進展があり、期待以上の成果が見込まれる
	A	当初目標に向けて順調に研究が進展しており、期待どおりの成果が見込まれる
	A-	当初目標に向けて概ね順調に研究が進展しており、一定の成果が見込まれるが、一部に遅れ等が認められるため、今後努力が必要である
	B	当初目標に対して研究が遅れており、今後一層の努力が必要である
	C	当初目標より研究が遅れ、研究成果が見込まれないため、研究経費の減額又は研究の中止が適当である
<p>(意見等)</p> <p>本研究は、近年、急速に発展している「トポロジカル相」に関する研究であり、研究代表者が提唱するバルク・エッジ対応という概念で様々な特異な現象を普遍的に理解しようとするものである。</p> <p>理論的な枠組みを高次のトポロジカル相に拡張し、実験的には ARPES 実験に加えて冷却原子系を取り込んでいることはユニークである。当初想定していなかった量子化ベリー位相の有効性が世界的に認知され研究が活性化している中、本研究により独自の量子化ベリー位相による高次トポロジカル相の研究を一段と発展させつつある。また、量子非破壊型量子気体顕微鏡の提案等、当初の目標を超える研究の進展があった。国内外における極めて激しい競争環境の中で失われがちな特徴を、例えば理論・実験双方の合致点を主張するのみならず、矛盾点をあえてさらけ出すなど、研究の特徴を前面に押し出して当該分野のけん引役となることを期待する。</p>		

皆様のご研究の成果が評価されたものです。ありがとうございました。

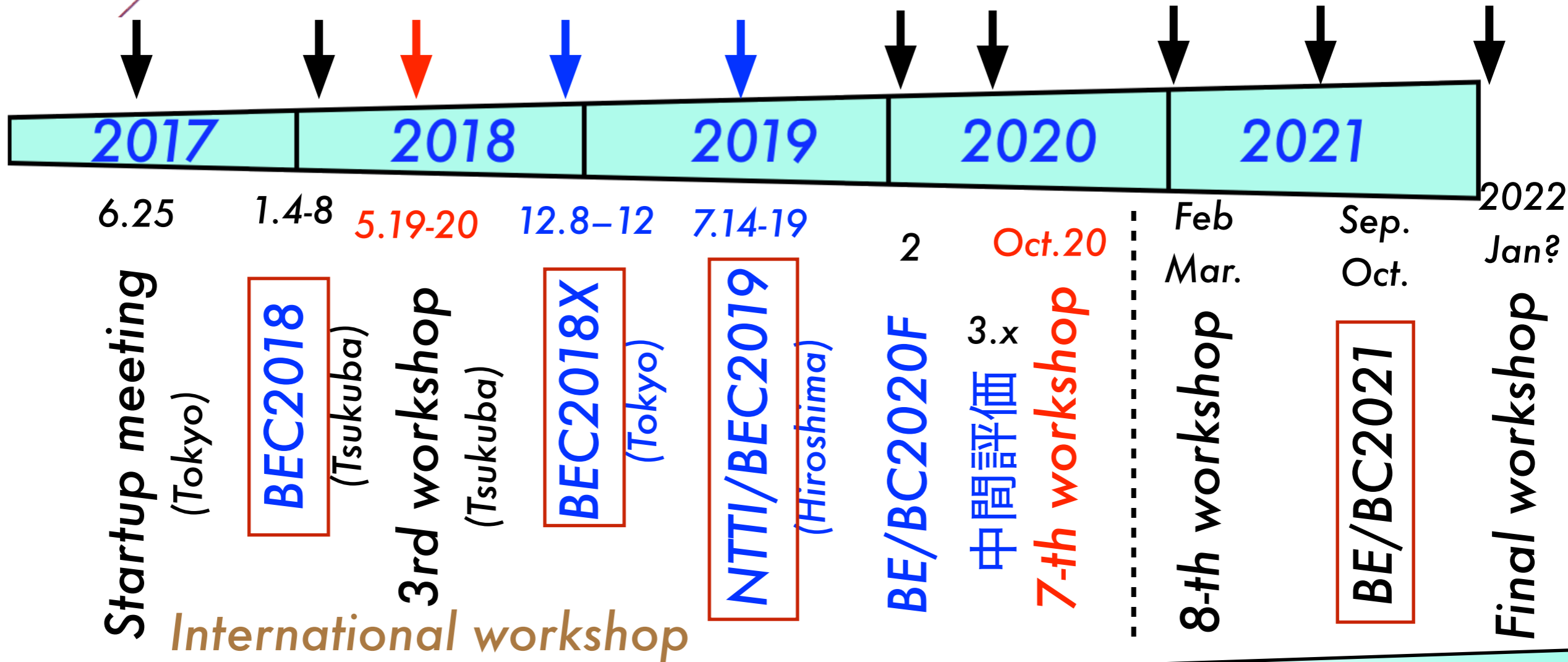
また、研究終了にむけて研究後半（2022年3月まで）もよろしくお願いいたします。

# トポロジカル相でのバルク・エッジ対応の多様性と普遍性

## 固体物理を越えて分野横断へ



2017年度～2021年度 (5年間)



International workshop

次の展開/申請

7-th workshop Oct.20

Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts  
Grant-in-Aid for Scientific Research (S) Project No.17H06138

Informal meeting (zoom), Oct.20, Language: Japanese (morning), English(afternoon)

10:00-17:30, Oct.20, 2020 :Time schedule is according to JST (Japan Standard Time)

Start	End	Chair				
10:00	10:30	A. Kimura	Project	Yasuhiro Hatsugai	U. Tsukuba	"Bulk-edge correspondence : past and future"
10:30	10:50		Project	Yoshiro Takahashi	Kyoto U.	"Study of topological phenomena using cold atoms"
10:50	11:10		Project	Hideo Aoki	AIST/U. Tokyo	"Optical imprinting of superlattices for topological manipulation"
11:10	11:20			Break		
11:20	11:40	Y. Takahashi	Project	Akito Kimura	Hiroshima U.	"Current status and future prospects on ARPES study of bulk-edge correspondence"
11:40	12:00		Project	Satoshi Iwamoto	U. Tokyo	"Topological slow light waveguide in semiconductor photonic crystal"
12:00	12:20		Project	Takahiro Fukui	Ibaraki U.	"HOTI in a magnetic field and theory of edge states"
12:20	12:40		Project	Tohru Kawarabayashi	Toho U.	"Bulk-edge correspondence with generalized chiral symmetry"
12:40	13:40			Lunch		
13:40	14:00	T. Mizoguchi	Invited	Kazuki Sumida	JAEA	"Spin-polarized Weyl cones and giant anomalous Nernst effect in ferromagnetic Heusler films"
14:00	14:20		Invited	Nobuyuki Takei	Kyoto U.	"Disorder-induced Thouless pumping of ultracold atoms in an optical lattice"
14:20	14:40		Invited	Yoshihito Kuno	U. Tsukuba	"Interaction Induced Topological Quantum Pump"
14:40	15:00		Invited	Toshikaze Kariyado	NIMS	"pi-flux induced in-gap channels in modulated honeycomb lattice model"
15:00	15:20		Invited	Tsuneya Yoshida	U. Tsukuba	"Topological band structure of classical diffusion phenomena"
15:20	15:30			Break		
15:30	16:10	Y. Hatsugai	Invited	Takashi Oka	U. Tokyo	"Heterodyne Hall Effect"
16:10	16:50		Invited	Kyogo Kawaguchi	RIKEN	"Chiral dynamics and boundary wave of active nematic neural progenitors"
16:50	17:30		Invited	Pierre Delplace	ENS de Lyon	"Topological waves from condensed matter to geophysical fluids"

*It's Informal,  
enjoy !*

arXiv:2010.02044 [pdf, ps, other]



## Flat Band Quantum Scar

Yoshihito Kuno, Tomonari Mizoguchi, Yasuhiro Hatsugai

arXiv:2009.08134 [pdf, ps, other]

## 久 Interaction induced doublons and embedded topological.

Yoshihito Kuno, Tomonari Mizoguchi, Yasuhiro Hatsugai

arXiv:2008.12590 [pdf, other]



## Square-root topological semimetals

Tomonari Mizoguchi, Tsuneya Yoshida, Yasuhiro Hatsugai

arXiv:2007.11215 [pdf, *this afternoon by Y. Kuno*]

## 久 Interaction Induced Topological Charge Pump

Yoshihito Kuno, Yasuhiro Hatsugai

## Square-root higher-order topological insulator on a decorated honeycomb lattice

Tomonari Mizoguchi, Yoshihito Kuno, and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. A **102**, 033527 (2020) - Published 30 September 2020



## Adiabatic heuristic principle on a torus and generalized Streda formula

Koji Kudo and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. B **102**, 125108 (2020) - Published 8 September 2020



## Mirror skin effect and its electric circuit simulation

Tsuneya Yoshida, Tomonari Mizoguchi, and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. Research **2**, 022062(R) (2020) - Published 17 June 2020



**Editors' Choice** Journal of the  
[September 17, 2020] Physical Society of Japan

## Type-III Dirac Cones from Degenerate Directionally Flat Bands: Viewpoint from Molecular-Orbital Representation

Tomonari Mizoguchi and Yasuhiro Hatsugai

J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 103704 (2020).



arXiv:2008.01924 [pdf, other]



## Detecting Bulk Topology of Quadrupolar Phase from Quench Dynamics

Tomonari Mizoguchi, Yoshihito Kuno, Yasuhiro Hatsugai

arXiv:2007.08730 [pdf, other]



## Bulk-edge correspondence of classical diffusion phenomena

Tsuneya Yoshida, Yasuhiro Hatsugai

*this afternoon by T. Yoshida*

## Fate of fractional quantum Hall states in open quantum systems: Characterization of correlated topological states for the full Liouvillian

Tsuneya Yoshida, Koji Kudo, Hosho Katsura, and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. Research **2**, 033428 (2020) - Published 16 September 2020



## Systematic construction of topological flat-band models by molecular-orbital representation

Tomonari Mizoguchi and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. B **101**, 235125 (2020) - Published 8 June 2020



## Higher-order topological phases in a spring-mass model on a breathing kagome lattice

Hiromasa Wakao, Tsuneya Yoshida, Hiromu Araki, Tomonari Mizoguchi, and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. B **101**, 094107 (2020) - Published 30 March 2020



## Exceptional band touching for strongly correlated systems in equilibrium

Tsuneya Yoshida ✉, Robert Peters, Norio Kawakami, Yasuhiro Hatsugai

Progress of Theoretical and Experimental Physics, ptaa059,



arXiv:2010.02044 [pdf, ps, other]

**Flat Band Quantum Scar**

Yoshihito Kuno, Tomonari Mizoguchi, Yasuhiro Hatsugai

arXiv:2008.01924 [pdf, other]

**Detecting Bulk Topology of Quadrupolar Phase from Quench Dynamics**

Tomonari Mizoguchi, Yoshihito Kuno, Yasuhiro Hatsugai

arXiv:2009.08134 [pdf, ps, other]

**Interaction induced doublons and embedded topological...**

Yoshihito Kuno, Tomonari Mizoguchi, Yasuhiro Hatsugai

arXiv:2008.12590 [pdf, other]

**Square-root topological semimetals**

Tomonari Mizoguchi, Tsuneya Yoshida, Yasuhiro Hatsugai

arXiv:2007.08730 [pdf, other]

**Bulk-edge correspondence of classical diffusion phenomena**

Tsuneya Yoshida, Yasuhiro Hatsugai

*this afternoon by T. Yoshida*

arXiv:2007.11215 [pdf, *this afternoon by Y. Kuno*]

**Interaction Induced Topological Charge Pump**

Yoshihito Kuno, Yasuhiro Hatsugai

**Square-root higher-order topological insulator on a decorated honeycomb lattice**

Tomonari Mizoguchi, Yoshihito Kuno, and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. A **102**, 033527 (2020) - Published 30 September 2020

**Fate of fractional quantum Hall states in open quantum systems: Characterization of correlated topological states for the full Liouvillian**

Tsuneya Yoshida, Koji Kudo, Hosho Katsura, and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. Research **2**, 033481 (2020) - Published 19 September 2020

**“SQUARE-ROOT”**

**Corner states**

**&**

**Edge states**

**Systematic construction of topological flat-band models by molecular orbital representation**

Tomonari Mizoguchi and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. B **101**, 235125 (2020) - Published 8 June 2020

**Adiabatic heuristic principle on a torus and generalized Streda formula**

Koji Kudo and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. B **102**, 125108 (2020) - Published 8 September 2020

**Mirror skin effect and its electric circuit simulation**

Tsuneya Yoshida, Tomonari Mizoguchi, and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. Research **2**, 022062(R) (2020) - Published 17 June 2020

**Higher-order topological phases in a spring-mass model on a breathing kagome lattice**

Hiromasa Wakao, Tsuneya Yoshida, Tomonari Mizoguchi, and Yasuhiro Hatsugai

Phys. Rev. B **101**, 094107 (2020) - Published 30 March 2020

**Editors' Choice** Journal of the Physical Society of Japan  
[September 17, 2020]

**Type-III Dirac Cones from Degenerate Directionally Flat Bands: Viewpoint from Molecular-Orbital Representation**

Tomonari Mizoguchi and Yasuhiro Hatsugai

J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 103704 (2020).

**Exceptional band touching for strongly correlated systems in equilibrium**

Tsuneya Yoshida, Robert Peters, Norio Kawakami, Yasuhiro Hatsugai

Progress of Theoretical and Experimental Physics, ptaa059,

# "SQUARE-ROOT"

According to P.A.M.Dirac,

## Relativistic mechanics

$$H = E = c\sqrt{p^2 + m^2c^2} = mc^2\sqrt{\frac{p^2}{m^2c^2} + 1} \approx mc^2\left(\frac{p^2}{2m^2c^2} + 1\right) = \frac{p^2}{2m} + mc^2$$

$$H_{cl} = c\sqrt{(\vec{p} - e\vec{A})^2 + m^2c^2}$$

$(\frac{p^2}{2m} \ll mc^2)$

Relativistic quantum mechanics  $\downarrow$  Quantize ! How?

$$H_{D,cl} = c\vec{\alpha} \cdot (\vec{p} - e\vec{A}) + \beta mc^2 \quad \alpha, \beta ?$$

$$c^2 \left\{ (\vec{p} - e\vec{A})^2 + m^2c^2 \right\}^2 = \left\{ c\vec{\alpha} \cdot (\vec{p} - e\vec{A}) + \beta mc^2 \right\}^2$$



**"SQUARE-ROOT"****P.A.M.Dirac**

$$c^2 \left\{ (\vec{p} - e\vec{A})^2 + m^2 c^2 \right\}^2 = \left\{ c\vec{\alpha} \cdot (\vec{p} - e\vec{A}) + \beta m c^2 \right\}^2$$

---


$$c \sqrt{(\vec{p} - e\vec{A})^2 + m^2 c^2} \stackrel{?}{=} c\vec{\alpha} \cdot (\vec{p} - e\vec{A}) + \beta m c^2$$

Number ?

 $\alpha, \beta$  : matrices




Internal degrees of freedom (spins)

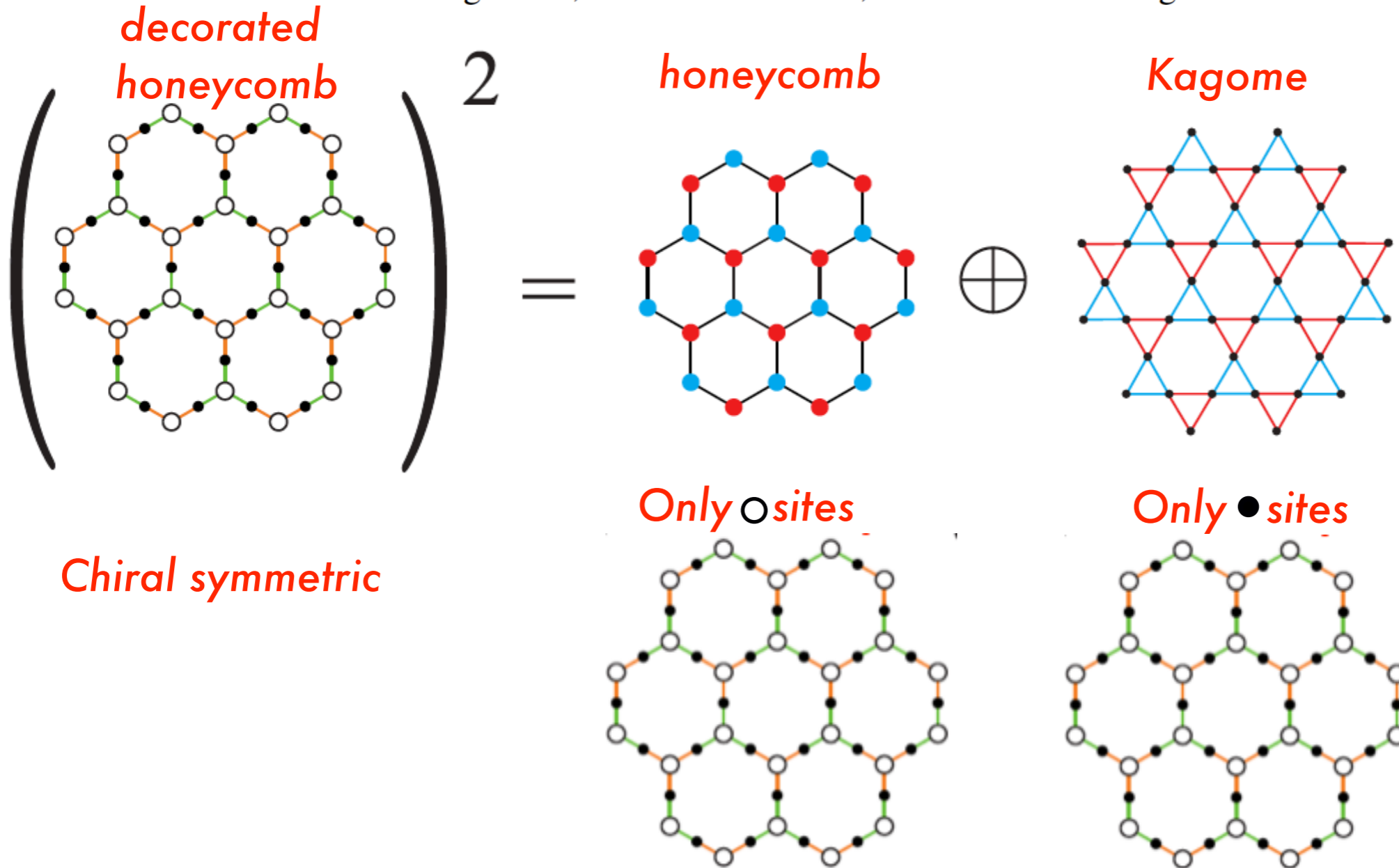
**Ah ! Need to introduce extra degrees !****Lattice analogue? Square-root systems****Need to introduce extra sites !**

# "SQUARE-ROOT"

PHYSICAL REVIEW A **102**, 033527 (2020)

**Square-root higher-order topological insulator on a decorated honeycomb lattice**




Tomonari Mizoguchi ,\* Yoshihito Kuno , and Yasuhiro Hatsugai 

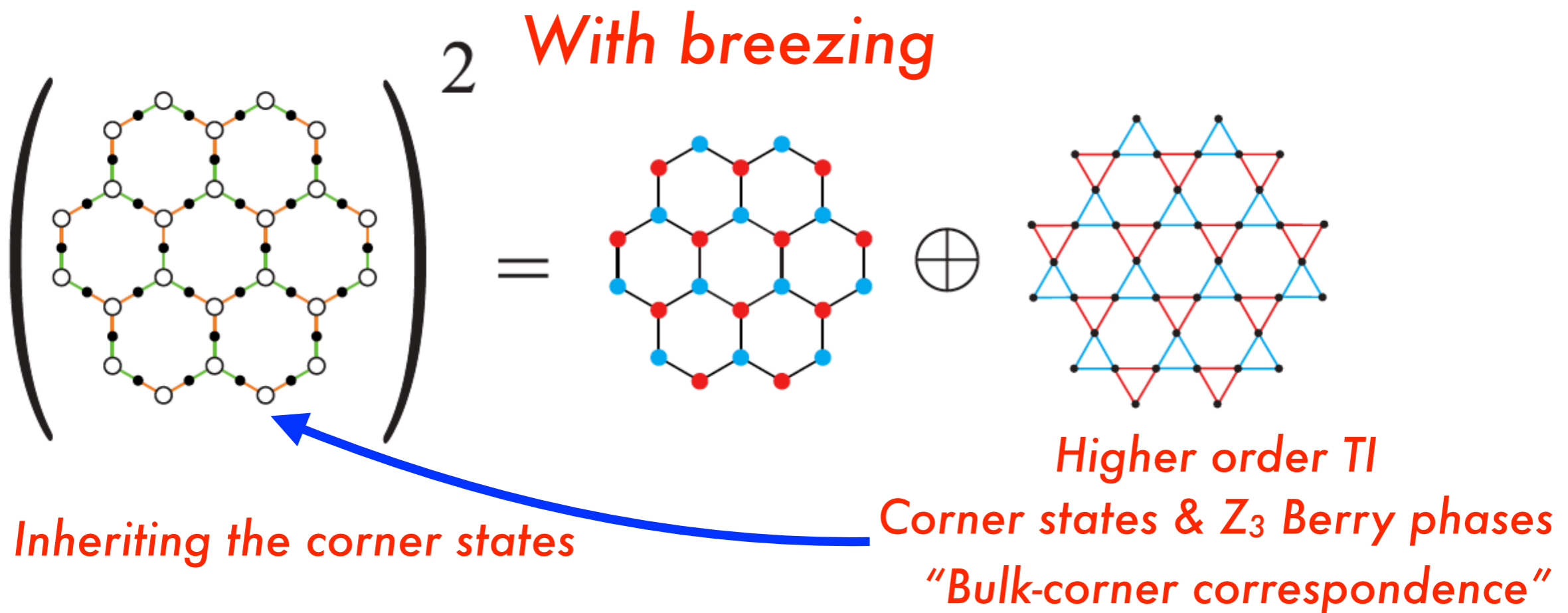


# "SQUARE-ROOT"

PHYSICAL REVIEW A **102**, 033527 (2020)

## Square-root higher-order topological insulator on a decorated honeycomb lattice




Tomonari Mizoguchi ,\* Yoshihito Kuno , and Yasuhiro Hatsugai 



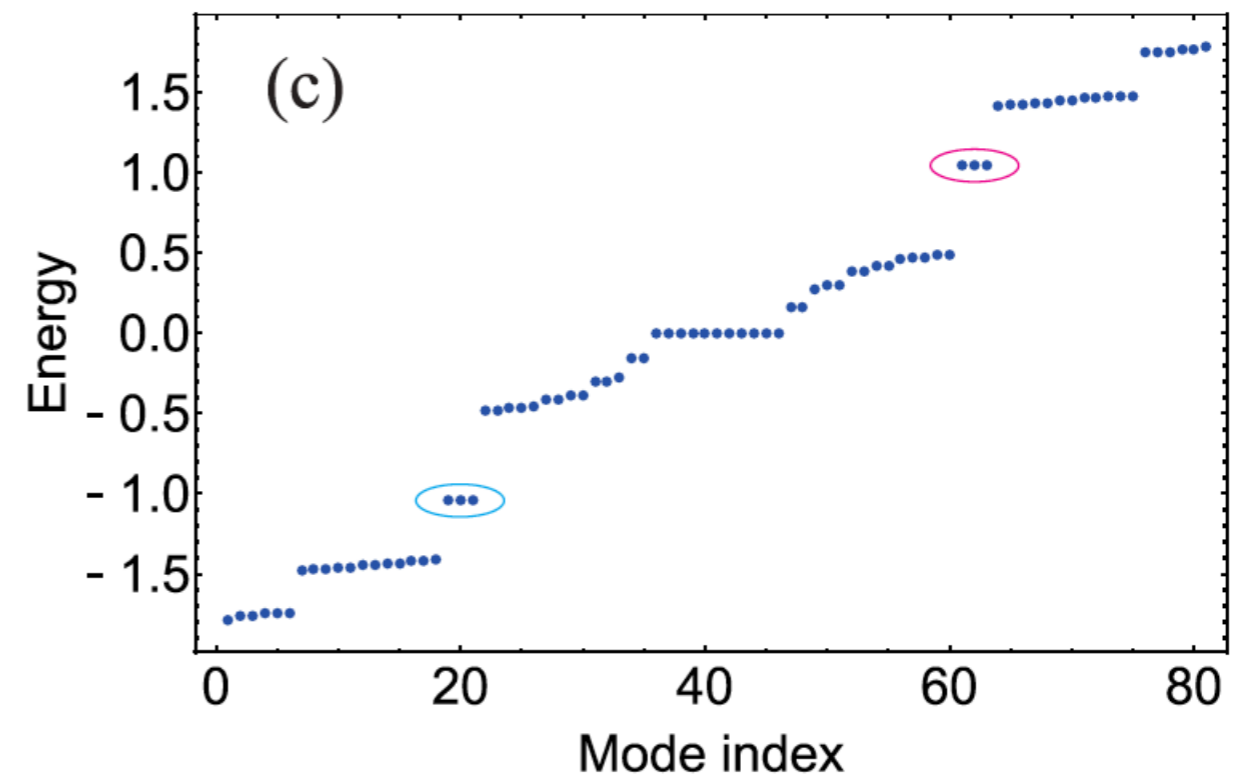
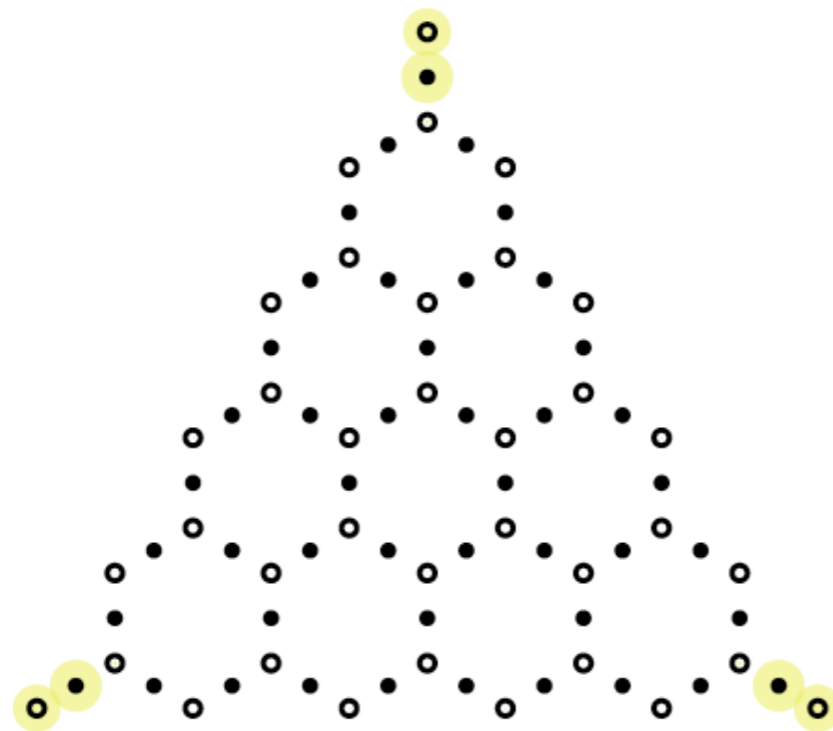
# "SQUARE-ROOT"

PHYSICAL REVIEW A **102**, 033527 (2020)

## Square-root higher-order topological insulator on a decorated honeycomb lattice

Tomonari Mizoguchi ,\* Yoshihito Kuno , and Yasuhiro Hatsugai 

*With breazing*



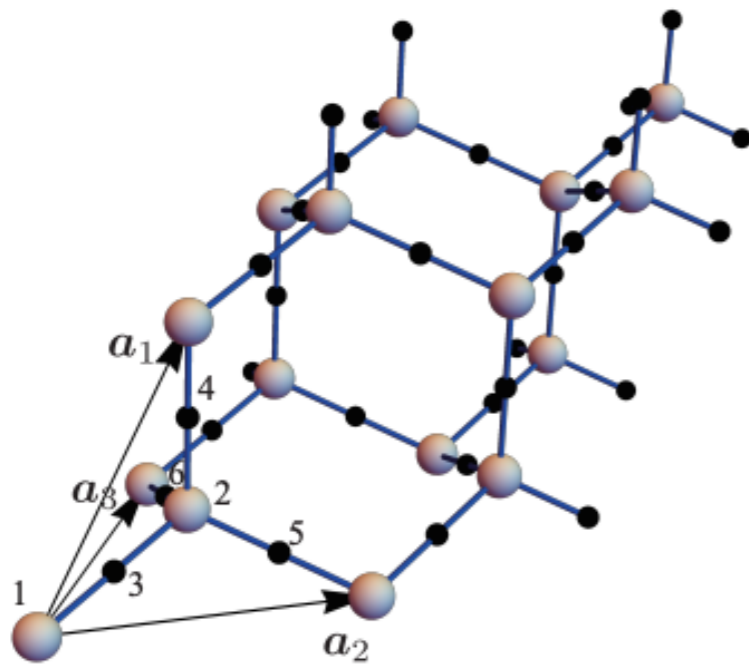
# "SQUARE-ROOT"

arXiv:2008.12590

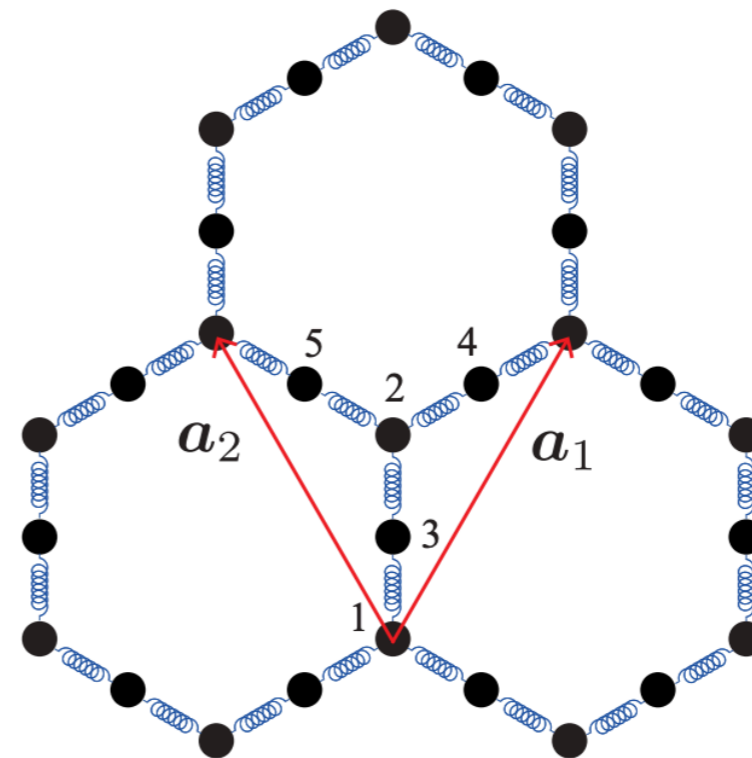
## Square-root topological semimetals

Tomonari Mizoguchi, Tsuneya Yoshida, and Yasuhiro Hatsugai

3D



Mechanical (spring-mass)



*Enjoy this meeting !*

***Enjoy this meeting !***

***Thank you !***