


第22回非線形反応と協同現象研究会 お茶の水女子大学(2012年12月8日)

化学反応波が励起する流体現象のリズムと階層性

山口大学・大学研究推進機構
三池 秀敏



第22回非線形反応と協同現象研究会

I. はじめに(温故知新)



非線形反応と協同現象研究会の歴史 (2000-2012)

日程	開催地・オーガナイザー
第22回 2012年12月8日	お茶の水女子大学(文京区) 森 義仁、北畑裕之
第21回 2011年12月17日	広島大学(東広島) 中田 聡
第20回 2011年1月8-9日	鹿児島大学(鹿児島) 神長 暁子
第19回 2010年1月9-10日	横浜国立大学(横浜) 雨宮 隆
第18回 2009年1月10日	同志社大学(京田辺) 塩井 章久、伴 貴彦
第17回 2008年1月12日	千葉大学(千葉) 櫻井 建成
第16回 2007年1月13日	慶應義塾大学(横浜日吉) 朝倉 浩一
第15回 2006年3月18日	お茶の水女子大学(文京区) 森 義仁
第14回 2004年12月4-5日	大阪大学(吹田) 中戸 義禮、中西 周次
第13回 2003年12月6-7日	京都大学(京都) 吉川 研一、秋田谷 龍男、北畑 裕之
第12回 2002年12月7-8日	奈良教育大学(奈良) 中田 聡、松村 竹子
第11回 2001年12月1-2日	お茶の水女子大学(文京区) 森 義仁
第10回 2000年11月18-19日	山口大学(宇部) 三池 秀敏


非線形反応と協同現象研究会の歴史 (1989-1999)

日程	開催地・オーガナイザー
第9回 1999年12月4-5日	お茶の水女子大学(文京区) 藤枝 修子、森 義仁
第8回 1998年12月5-6日	奈良教育大学(奈良) 松村 竹子、中田 聡
第7回 1998年1月15-16日	かずさアカデミア(千葉) 秀島 武敏
第6回 1996年11月16-17日	分子科学研究所(岡崎) 花崎 一郎、森 義仁
第5回 1995年11月10-11日	東京理科大学(東京) 鈴木 清光
第4回 1994年12月21-22日	基礎化学研究所(京都) Qui Tran-Cong
第3回 1993年12月15-16日	日本化学会(お茶の水) 藤枝 修子
第2回 1992年12月19-20日	分子科学研究所(岡崎) 花崎 一郎、森 義仁
第1回 1991年12月21-23日	分子科学研究所(岡崎) 花崎 一郎、森 義仁、吉川 研一
前身:	
1990年	岡崎コンファレンス 分子科学研究所(岡崎) 花崎 一郎、森 義仁
1989年	分子科学研究所研究会 分子科学研究所(岡崎) 花崎 一郎、森 義仁


第10回非線形反応と協同現象研究会:2000年山口大学

第10回 非線形反応と協同現象研究会
11月18日(土)


<p>13:00 オープニング(司会:三池秀敏)</p> <p>主催者挨拶(工学部長代理 山口大学副総長・小嶋直哉教授)</p> <p>祝詞(マダガスカール大学・スタファン・ミュラー教授)</p> <p>オープニングCG放映(木下武志講師)</p> <p>セッション1(司会:石川真樹)</p> <p>13:15 三村昌雄(広島大学理学部生命科学専攻)</p> <p>Insensitization of pattern arising in reaction-diffusion systems</p> <p>反応拡散系に現れるパターンの遷移過程ダイナミクス</p> <p>14:15 野村真一郎(京都大学理学部物理専攻・吉川研究室)</p> <p>レーザートラップによる長鎖DNA単一分子の自動振動</p> <p>14:40 休憩(コーヒー&紅茶):ポスター掲示のアナウンス</p> <p>ポスターセッション開始</p> <p>セッション2(司会:吉川研一、中田聡)</p> <p>15:00 西山宣昭(理化学研究所脳科学総合研究センター)</p> <p>「細胞集団におけるパターンダイナミクスの機能」</p> <p>15:25 甲斐真一(九州大学)</p> <p>「種々の結合パターンとチューリング不安定」</p> <p>16:25 中塚康之(東北大学理学部) (山田 北大 電子研)</p> <p>「粘着細胞における管ネットワークの形成と振動リズム」</p> <p>16:50 休憩(コーヒー&紅茶) & ポスターセッション</p>	<p>セッション3(司会:横山俊郎)</p> <p>17:10 西村雅夫(山口大学工学部)</p> <p>「施設費削減に形成されるブルーム構造とその性質」</p> <p>18:10 佐崎 元(東北大学金属材料研究所)</p> <p>「微小重力下での水溶液中のマランゴニ対流のその場観察:タンパク質の結晶化に及ぼす影響について」</p> <p>18:40 ポスター紹介プレゼン1(18件*25分)(司会:中田聡)</p> <p>19:30 懇談会+ビデオセッション(常盤工業会館 移動)10分</p> <p>11月19日(日)</p> <p>9:00 ポスターセッション</p> <p>9:30 ポスター紹介プレゼン2(12件*25分)(司会:三池秀敏)</p> <p>セッション4(司会:山口智彦)</p> <p>10:00 Stefan Müller(Magdeburg大学)</p> <p>「Control of Excitation Waves」</p> <p>セッション5(司会:藤枝修子、森義仁)</p> <p>11:20 神長暁子(鹿児島大学理学部)(前田理、早川勝光・鹿児島大)</p> <p>「GSHRIにおけるB2運動反応への高分子電解質の阻効果」</p> <p>11:45 野村真樹(山口県立大)(三池秀敏、羽野光夫・横山俊郎、山口大)</p> <p>「Eukaryotic Zebrafish 胚の発生過程に関するMasamune効果と流体力学現象」</p> <p>12:10 猪本 修・山口一郎(九州大学)</p> <p>位相シフトデジタルホログラフによる軌道遷移の計測</p> <p>12:35 閉会(スタッフ紹介)</p>
--	--



第10回非線形反応と協同現象研究会 オープニングCG



2000年11月18日・山口大学工学部



II. 反応に伴う対流のリズム



Chemical Rotors in "When Time Breaks Down" by Arthur T. Winfree (1987)



Reaction-Diffusion Model for BZ-reaction

- Oregonator Model (Tyson Version)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D_u \nabla^2 u + \frac{1}{\varepsilon} \left\{ u(1-u) - fw \frac{u-q}{u+q} \right\}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D_w \nabla^2 w + (u-w)$$

Simulation by A. Nomura

u : Activator w : Inhibitor
 $D_u > D_w$: Diffusion Coefficient
 $\varepsilon \ll 1$

1990年: 化学反応系におけるパターン形成研究の分岐点

<p>A) 理想的な反応拡散系と定常パターンの実現(1990-)</p> <ul style="list-style-type: none"> V. Casters, De Kepper et al., Phys. Rev. Lett., 64(1990)2953 1) No Convection: ゲルや膜中での反応拡散 2) CFR(Continuously Fed Rea.): 反応基質の連続補給による定常状態の実現 3) Turing Patternの発見 <p>B) 光触媒を用いたパターン・ダイナミクスとその制御</p> <ul style="list-style-type: none"> L.Kuhnert et al., Nature(1989) T. Sakurai et al., Science(2002) <p style="color: red;">メイン・ストリーム</p>	<p>C) 化学反応波に伴う流体现象の追求(1987-)</p> <ul style="list-style-type: none"> H. Miike, S.C. Müller et al., Phys. Rev. Lett., 61(1988)2109 1) With Convection: 溶液中での反応拡散 + 対流 2) USBR(Unstirred Batch Rea.): パッチリアクターでの非定常パターン・ダイナミクス 3) 化学ラセン波の発達に伴う振動流の観測 <p>Flow Waves (階層構造)の発見: K. Matthiessenn, S.C. Müller, Phys. Rev. E32(1996)492</p> <p style="color: blue;">サブ・ストリーム?</p>
--	---

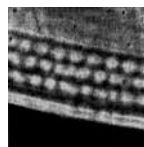
A) 理想的な反応拡散系と定常状態の実現 (1990年代以降のメイン・ストリーム)

- Turing 分岐によるパターン形成

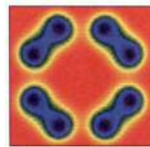
$$\frac{\partial u}{\partial t} = D_u \nabla^2 u + \frac{1}{\varepsilon} \{ f(u, v) \}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = D_v \nabla^2 v + g(u, v)$$

$$D_u \ll D_v, \varepsilon \ll 1$$



静止した化学反応波:
V. Casters et al., :1990



Pearson: 1993

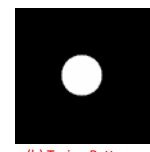
B) 光触媒を用いたパターンダイナミクス



L.Kuhnert et al., Nature(1989)



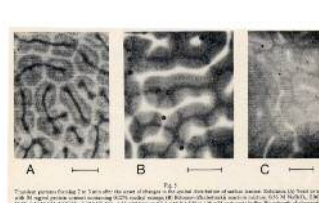
(a) Edge Pattern



(b) Turing Pattern
K. Miura et al., Forma(2008)

C) 化学反応波に伴う流体现象の追求: 1985- (もう一つのストリーム)

- 化学・生化学反応溶液における表面張力対流パターン:
S.C.Müller et al., Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 89(1985)654-



- 化学・生化学溶液で観測される対流に伴う空間構造
- 表面張力に駆動された対流を可視化する化学反応!

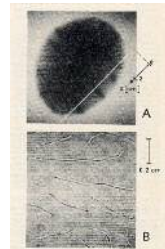
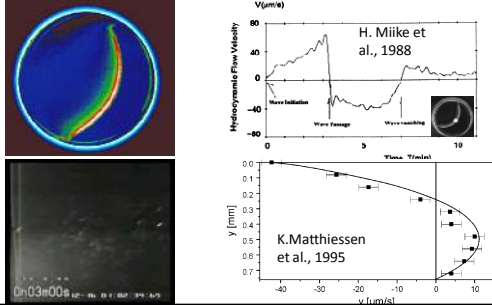


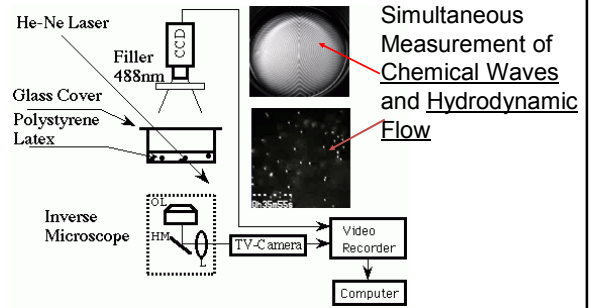
Fig. 11. A typical example of a flow pattern in a reaction-diffusion system. The flow is driven by surface tension forces. The flow is characterized by a central region of high concentration and a surrounding region of low concentration. The flow is characterized by a central region of high concentration and a surrounding region of low concentration.

2. 単一の化学反応波に伴う流体现象(1)

- A single chemical wave excited in BZ-solution induces convective flow change. This can be regarded as a forced oscillation caused by passage of the chemical wave.

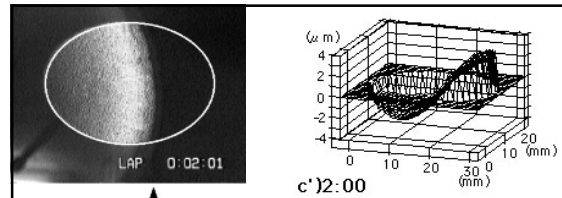
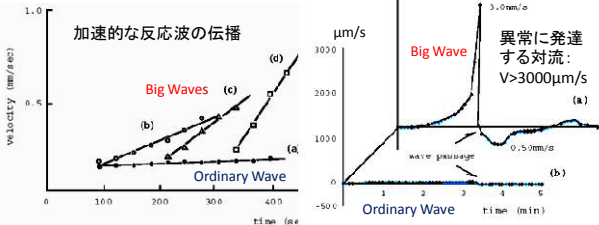
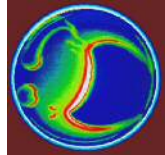


Determination of Flow Structure



2. 単一の化学反応波に伴う流体现象(2)

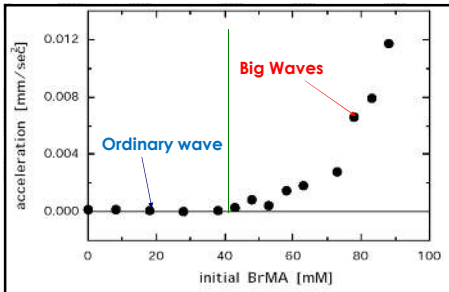
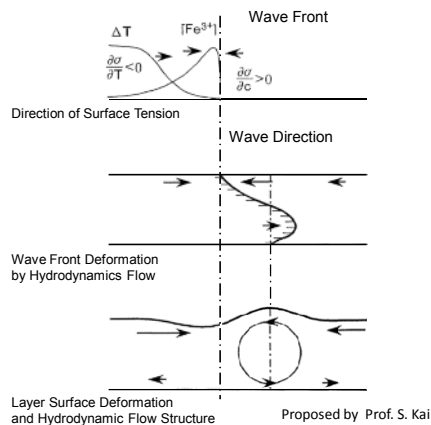
- A **Big Wave** having an accelerating propagation speed was found in BZ solution layer: H. Miike, H. Yamamoto, S. Kai, and S.C. Müller, Phys. Rev. E, 48(1993) R1627.



S.Kai et al., Physica D 84 (1995) 269

Big Waves
Having a global surface deformation measured by interferometer: about 6 μm
Hydro-chemical Soliton

ポイント:長波長の界面の変形を伴う

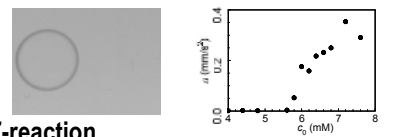
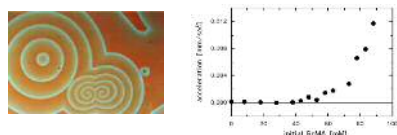


BrMA-Concentration Dependence of the Acceleration of Chemical Waves

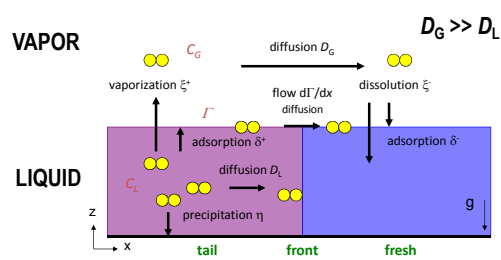
O.Inomoto et al., May, 2000 Phys. Rev. E, Vol. 61, p.5326

ポイント:相転移(制御変数の存在)

Frontal Acceleration in Excitable Media: O. Inomoto (2003)

- Iodate-arsenous acid reaction
 
- BZ-reaction
 
- private communication

Overview of the system : O. Inomoto (2003)

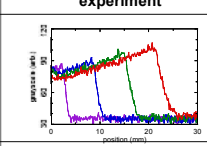
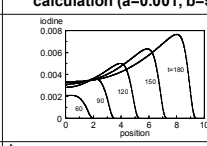


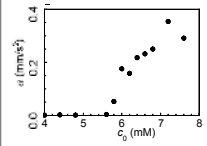
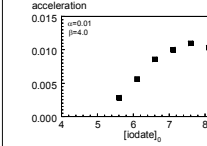



- private communication

Mathematical description (O. Inomoto, 2003) in iodate-arsenous acid reaction

gas	$\frac{\partial c_G}{\partial t} = D_G \nabla^2 c_G + R_G$	iodine / gas phase (vaporization)
interface	$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} = D_S \nabla^2 \Gamma + \delta_L^* c_L + \delta_G^* c_G$	surface excess
	$\frac{\partial u_z}{\partial z} = \lambda \frac{\partial \Gamma}{\partial x}$	shear flow (b.c.)
liquid	$\frac{\partial c_L}{\partial t} + (u_i \cdot \nabla) c_L = D_L \nabla^2 c_L + R_L + F_i(c_i)$	iodine / liquid phase (dissolution, precipitation)
	$\frac{\partial c_i}{\partial t} + (u_i \cdot \nabla) c_i = D_i \nabla^2 c_i + F_i(c_i)$	iodide, iodate, arsenous acid / liquid phase
	$\frac{\partial u_i}{\partial t} + (u_i \cdot \nabla) u_i = D_i \nabla^2 u_i - \frac{\partial p}{\partial x_i}$	convective flow
	$\sum_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$	continuity

Comparison of results: O. Inomoto, 2003

	experiment	calculation (a=0.001, b=5.0)
profile (I ₂ distribution)		
space-time plot		
instability		

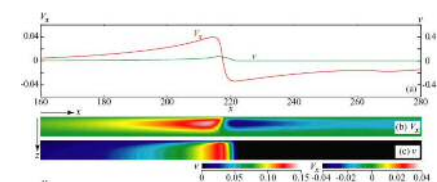


非線形科学の深化/研究会
2003.12.12-13: 山口大学工学部

- 反応拡散+流体現象に 関する4つの講演(モデル)
- 猪本修:九州大学
- 長山雅晴:京都大学
- 北畑裕之:京都大学
- 野村厚志:山口大学

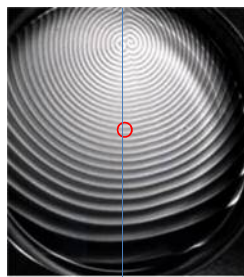
Reaction-Diffusion-Convection models trying to explain convection associated with chemical waves

- 1995: H. Wilke, Physica D 86
- 1996: K. Matthiessen et al., Phys. Rev. E 53
- 1996: M. Diewald et al., Phys. Rev. Lett. 77
- 2003: H. Kitahata et al., J. Chem. Phys. 116
- 2003: O. Inomoto et al., non-published
- 2005: A. Nomura et al., non-published
- 2013: ??

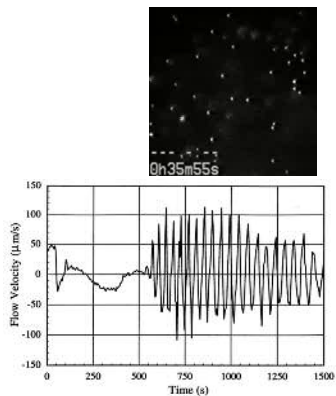


A. Nomura, 2005 Viscous-Elastic Surface Model

3. ラセン化学波に伴う振動対流と対流波

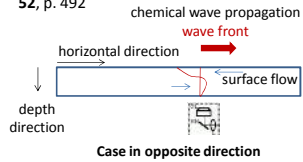
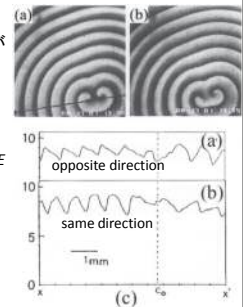


H.Miike et al., 1987.12.24
Self-Organized Oscillation of Convection in BZ-Solution Exciting Spiral Waves.



振動流の方向と化学反応波の変形

- 流体现象が波の形に及ぼす影響
 - 流体现象によって反応溶液の表面付近が流される
 - ⇒ 波の形(intensity profile)が変形
 - ⇒ 波の形から表面付近の流れを推定可能
 - Miike and Müller (1993) *Chaos* 3, p.21.
 - Matthiessen and Müller (1995) *Phys. Rev. E* 52, p. 492



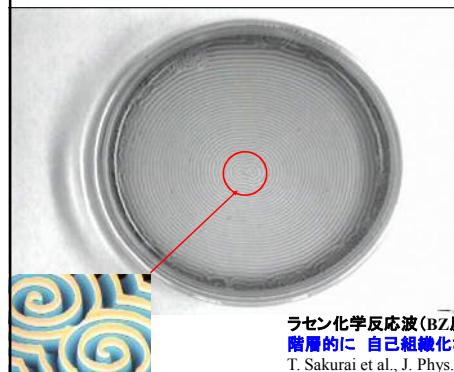
K. Matthiessen, H. Wilke and S.C. Müller, 1996

(3) **Flow Waves** (=global structure of the oscillatory convection) Observed in BZ-solution under Exciting Chemical Spiral Waves.

階層構造の発見
= 化学反応波と対流波の2重構造

K. Matthiessen et al. 1996

4. ラセン状化学波の発達に伴い創発するラセン状対流波の生々流転



ラセン化学反応波(BZ反応)の中に階層的に自己組織化されるラセン状対流波
T. Sakurai et al., J. Phys. Soc. Japan, 72(2003)

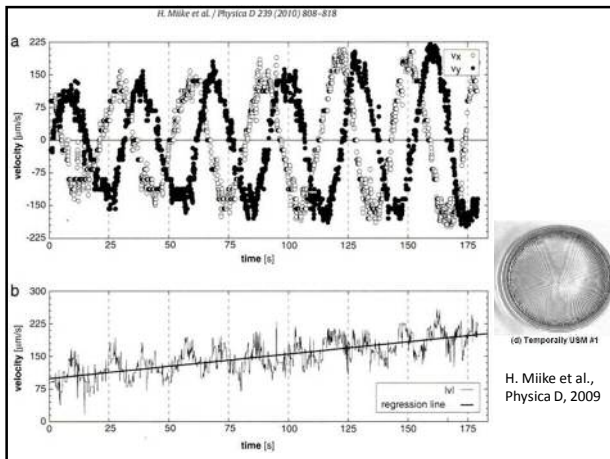
Emergence and Extinction of Order in Chemical Reaction:
Spiral Flow Waves in Chemical Spiral Waves of BZ-Reaction, T. Sakurai et al., 2003

Spiral Flow Waves of Hierarchical Pattern Dynamics Self-Organized in BZ-solution

- Direction of Hydrodynamic Flow is Rotating.
- Flow Waves of Spiral Shape is Rotating.
- **Flow Waves** = Global Synchrony of Distributed Nonlinear Convection Oscillators?

対流波 = 対流振動子の同期現象?

T. Sakurai et al., J. Phys. Soc. Japan, 2003
CTL 0:19:01:05



ラセン波に伴い自己組織化される振動流理解への新たな視点？

- 化学波の通過に伴う局所的な表面張力流の振動
- 化学波の波長減少に伴う振動周期の変化
 - 周期的な化学波の通過=外力による強制振動
 - 対流振動子群 (flow oscillators) の形成
- ラセン波の時間発展に伴うコヒーレント構造の形成
 - 対流振動子群の周波数分布がセル全体で揃う
 - 対流振動子群の同期現象 (相転移) が発生 = 振動流 (対流波) の発生

新たな視点
= 対流振動子群の同期現象としての振動流・対流波の理解

対流と結合した化学反応波の特徴

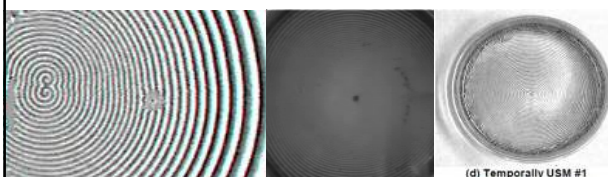
	弱結合	強結合	階層構造	階層構造
	Ordinary Chemical Wave	Big Wave (accelerating chemical wave)	Flow Wave in Chemical Spiral Waves	Spiral Flow Wave
Speed of Waves	100 $\mu\text{m/s}$	100-300 $\mu\text{m/s}$ accelerating	2500 $\mu\text{m/s}$	>3000 $\mu\text{m/s}$
Convection Flow Velocity	40-60 $\mu\text{m/s}$	-3000 $\mu\text{m/s}$	50-100 $\mu\text{m/s}$ shrinking	100-300 $\mu\text{m/s}$ Expanding
Surface Deformation	< 1 μm	5-10 μm Point: long-scale surface deformation	1-2 μm	-3 μm
Nature of Waves	triggered wave	triggered to phase wave?	phase wave	phase wave

化学反応波に伴う流体现象の対流振動子集団の同期としての理解

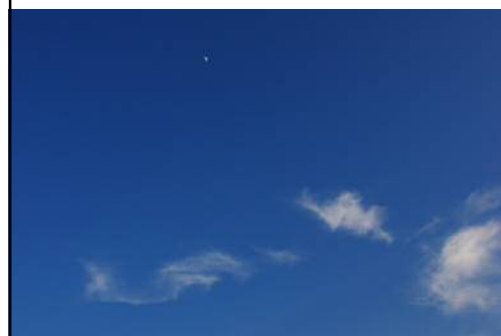
- ラセン状化学反応波を励起したBZ反応溶液中でのラセン状対流波のダイナミクス: 誕生・成長・消滅
- 反応・拡散・流体系に自己組織される時空パターン
 1. 溶液中心に励起された一対のラセン状化学波
 2. 容器全体に及ぶ化学波のコヒーレント構造形成
 3. 反応開始後8-10分経過後の対流波の発生
 4. ラセン状対流波の発達と階層構造の形成
 5. 成長する回転流 (流速の時間発展: 振幅の増大)
 6. 発達した対流波による化学波の変形・崩壊
 → どのようにモデル化するか?

Unsolved characteristics expected to understand by introducing the new scheme.

- Frequency of the flow wave's oscillation or rotation.
- Wavelength or scale of flow wave.
- Direction of flow wave propagation.
- Birth, growth and death of flow waves.

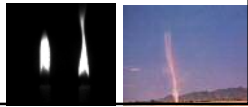


Ⅲ. もう一つの反応・拡散・対流現象



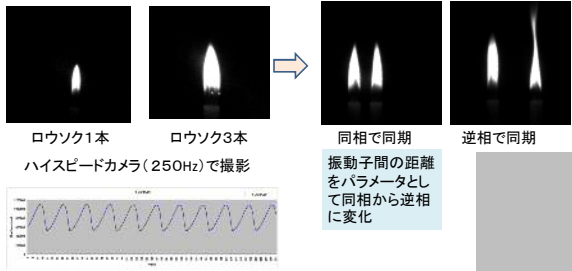
ろうソクの科学から森羅万象の理解へ (Science on Emergence and Extinction of Order)

- ろうソク火炎の対流振動子(振動と同期)
 - ろうソク火炎振動に伴う渦状対流構造の発生
 - 火炎上空での対流の“乱れ”の発達
 - 対流の“乱れ”が渦状回転流に成長
 - 渦状回転流の降下
 - 渦状回転流が火炎にタッチダウン
 - 火炎の振動
 - 火炎振動子の同期現象: 渦状回転流の相互作用
- 気象現象との関連



ろうソクの炎のリズム=非線形振動子

- 「炎の光の振動」(石田&原田, 化学と教室, 1999)
 - ろうソク2本束ねると炎が振動する
 - 二組のろうソクでは同期する

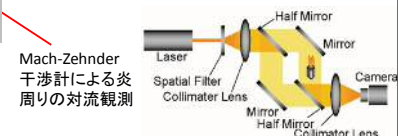


同相で同期 逆相で同期

振動子間の距離をパラメータとして同相から逆相に変化

Oscillation and Synchronization in the Combustion of Candles

- 実験:
 - 千葉大: H. Kitahata, T. Sakurai
 - 山口大: J. Taguchi, A. Osa, H. Miike
 - 京都大: Y. Sumino, M. Tanaka
- 数理モデル:
 - 金沢大: M. Nagayama, Y. Ikura
 - 学習院大: E. Yokoyama



J. Phys. Chem., 113 (2009)

Mach-Zehnder 干渉計による炎周りの対流観測

ろうソク振動子の数理モデル

$$C \frac{dT_i}{dt} = \omega_i \left[h(T_0 - T_i) + \beta a n_i \exp\left(-\frac{E}{RT_i}\right) \right] + \sigma \left(\frac{\mu}{L^2} T_j^4 - T_i^4 \right)$$

$$\frac{dn_i}{dt} = \omega_2 \left[k(n_0 - n_i) - a n_i \exp\left(-\frac{E}{RT_i}\right) \right]$$

ろうソク振動子間における輻射熱による相互作用

燃焼に伴う周期的な酸素欠乏による振動 → 同相と逆相の同期を再現: 次ページ図(c), (d)

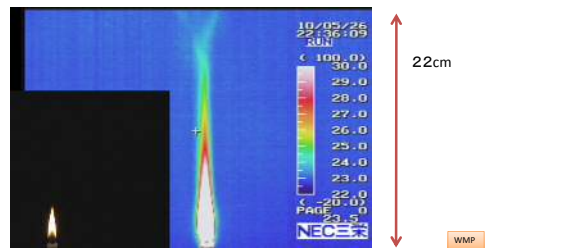
a : ろうの供給率	h : 放射率
C : 比熱	k : 酸素供給率
R : 気体定数	β : ろうの単位変化あたりの熱変換率
E : 活性化エネルギー	σ : ステファンボルツマン定数
T_0 : 外界の温度	T_i, T_j : 反応場の温度
n_0 : 外界の酸素濃度	n_i, n_j : 反応場の酸素濃度
ω_1 : 時定数(温度変化)	$i, j = 1, 2 (i \neq j)$
ω_2 : 時定数(酸素濃度変化)	

長山雅晴, 井倉弓彦(金沢大)による数理モデル

New observations by a thermal vision:

A flame oscillation by a bundle of two candles.

- An eddy like convection appeared over the candle flame.
- The oscillation began to start when the eddy touch down the candle flame.



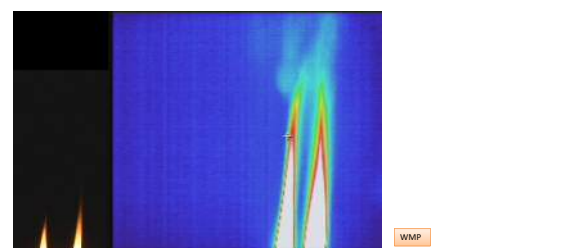
22cm

山口大学

New observations by a thermal camera:

In-phase sync of the flame oscillation appeared in two bundles of candles.


- When the bundled two candles arranged at a close position, the eddy currents curled up and developed into a big vortex of convection.



山口大学

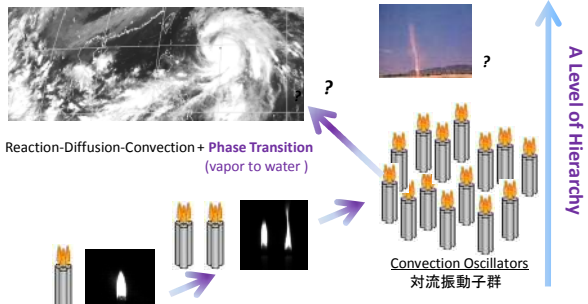
考察: 対流振動子としての理解 (炎のリズム=対流のリズム)

- ロウソクの振動には、**燃烧による酸素欠乏**だけではなく、**炎の真上に出現する(水平面で回転する)渦状対流**が関与している可能性がある
 - ケルビン-ヘルムホルツ(KH)不安定性も関連するが、典型的な鉛直方向の渦とは形(回転軸)が異なる。
 - 3次元カルマン流?噴流?スーパーローテーション?
- 同期振動しているロウソク振動子間の相互作用には、**対流の発達(渦状乱流へ)**が関与している
 - 距離による相互作用の変化(同相から逆相へ)と、**炎の上の回転渦流の形状差**
 - ・同相(近距離): 一体化した一つの渦として回転
 - ・逆相(中間距離): 二つの渦として別々に回転



Hierarchical pattern dynamics in candle flame oscillators (CFO)

- What may happen in crowded CFO?



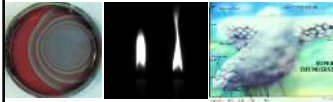
Reaction-Diffusion-Convection + Phase Transition (vapor to water)

Convection Oscillators
対流振動子群

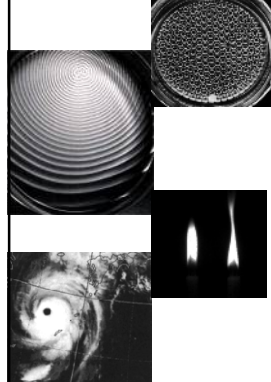
A Level of Hierarchy

反応(化学変化と物理変化)の分類

- 化学変化(化学反応):**
 - ・化合、分解、**燃烧**、酸化(錆)、電気分解
 - ・加熱によるタンパク質の**変成(調理)**
 - ・腐敗、発酵、呼吸、消化(生化学反応)
 - ・核反応(分裂、融合)
- 物理変化:**
 - ・変形、伸縮、切断、接合
 - ・混合、溶解
 - ・相転移(状態変化)
- 物理変化と化学変化の境界:**
 - ・合金、固体の相変化
 - ・DNAの2本鎖と1本鎖の**転移**
 - ・塩の水溶液、..



リズムの同期と階層性を生むメカニズム



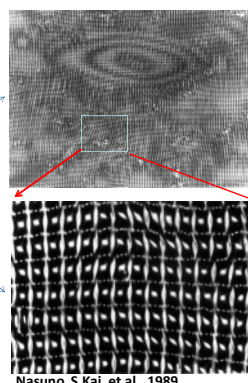
非線形科学の対象系

- ・熱対流(ベナールセル) = 熱拡散 + **対流**
- ・Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応 = 反応 + 拡散(ゲル中)
- ・生物リズム(ホタルの同期発光) = 光化学反応 + 輻射
- ・液晶電気光学効果(右図) = 異方性流体(**対流**)
- ・BZ反応(溶液中) = 化学反応 + 拡散 + **対流**
- ・ロウソクの**燃烧** = 燃烧 + 拡散 + **対流** + 相転移 + 輻射
- ・気象現象(竜巻、台風) = 拡散 + **対流** + 相転移(物理変化)

リズムの同期と階層性を生むメカニズム

非線形科学の対象系

- ・熱対流(ベナールセル) = 熱拡散 + **対流**
- ・Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応 = 反応 + 拡散系(ゲル中)
- ・生物リズム(ホタルの同期発光) = 光化学反応 + 輻射
- ・液晶電気光学効果(右図) = 異方性流体による**階層性**
- ・BZ反応(溶液中: 次ページ) = 反応 + 拡散 + **対流系**の**階層性**
- ・ロウソクの**燃烧** = 反応・相転移 + 拡散 + **対流** + 輻射
- ・気象現象(竜巻、台風) = 拡散 + **対流** + 相転移(反応)



Nasuno, S.Kai et al., 1989

- ・1960年代: サイバネティクス
- ↓
- ・1970年代: カタストロフィー
- ↓
- ・1980年代: カオス理論
- ↓
- ・1990年代: 複雑系理論
- ↓
- ・2000年代: 創発性の科学
- ↓
- ・2010年代: ?
- ↓
- ・2020年代: ?

蔵本由紀 監修
長尾力 訳
早川書房
2008年

おわりに



- BZ反応に伴う流体现象
→現象を見出して25年：
何一つ解決出来ていない！
- 反応・拡散・対流系の深遠さ(階層性の自己組織化)
→自然界の新羅万象(燃烧・
気象)を含め幅広い！
- SYNC(創発現象の科学)
に続くサイエンスは？
→失敗を恐れずに、新分野
の創成にチャレンジ！

ご提案:

- 過去の業績は忘れて、全く
新しい課題に挑戦
- 専門分野の領域を超えた研
究者の連携によるプロジェ
クトメイク
- 開放的な研究環境の構築
(非平衡・開放系):オープン
マインド
- 世界の研究者との共同研
究を通じたネットワーク作り

Welcome to the RDC-World.



Thank you for your kind attention.

都府様・月山(大宰府政府) 跡