4版

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　４ 年　 ６ 月 ２３ 日現在

機関番号：３２７０２

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：１７Ｋ０５３４０

研究課題名（和文）数理生態学に現れる自由境界問題の解の形状と伝播現象の解明

研究課題名（英文）Profile of solutions and propagation phenomena for free boundary problems appearing in mathematical ecology

研究代表者

松澤　寛（Matsuzawa, Hiroshi）

神奈川大学・理学部・教授

研究者番号：８０４１３７８０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では外来種侵入のモデルとして数理生態学に現れる反応拡散方程式の自由境界問題を扱った。この問題は生物の個体数密度と生物の生息領域の境界がともに未知であり，それを同時に決定する問題である。この問題はDu-Lin(2010)によるモデルの提唱より盛んに研究されてきた。本研究では特に非線形項が２つの正の安定平衡点をもつpositive bistable型非線形項の場合について，十分時間が経過した場合について個体数密度を表す関数の定義域全体での形状が、空間１次元および空間高次元球対称の場合について完全に解明できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
反応拡散方程式の自由境界問題は外来種が生息領域を拡大する現象のモデルに端を発しており、現実問題の観点からもその理論的解析は重要である。本研究で扱うpositive bistable型の非線形項は北アメリカに住む森林害虫の個体数密度のダイナミクスのモデルに現れる非線形項である。数学的には反応拡散方程式の自由境界問題における解の定義域全体での漸近的形状を調べる手法を確立したといえる。今後，生態系のしくみ，さらには環境保全にいたるまで課題解決のひとつの手がかりとなりうる。

研究成果の概要（英文）：My research deal with a free boundary problem of reaction diffusion equation. This problem models spreading phenomena of invasive biological of chemical species. This model has been proposed by Du and Lin(2010) and a lot of researchers have studied them after the appearance of the study of Du and Lin. In my study, I discussed a reaction diffusion equation with a positive bistable nonlinear term which has two positive stable equilibrium and revealed detailed asymptotic profile s of solution over the whole domain. In particular, I have found under suitable condition, the solution approaches so-called propagating terrace(a system of stacked traveling fonts and semi-wave front).

研究分野：非線形偏微分方程式

キーワード：自由境界問題　反応拡散方程式　多安定型　テラス解

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

2010 年 Du 教授と Lin 教授は，外来生物種の侵入現象のモデルとして次の自由境界問題を提唱した．

(FBP)

$$\begin{cases} u_t - u_{xx} = f(u), & t>0,\ 0<x<h(t), \\ u_x(t,0) = u(t,h(t)) = 0, & t>0, \\ h'(t) = -\mu u_x(t,h(t)), & t>0, \\ h(0)=h_0,\ u(0,x)=u_0(x), & 0\le x\le h_0 \end{cases}$$

$u(t,x)$は生物の時刻 t，場所 x での個体数密度，区間$(0, h(t))$ は生物の生息領域，$h(t)$は生息領域の最前線（spreading front）を表し，その動きは第３式の Stefan 条件によって記述される．この問題について，解 $(u(t,x), h(t))$の $t\to\infty$における挙動を決定することが主要なテーマである．Du 教授と Lin 教授は 2010 年の論文において，非線形項 $f(u)$ が $f(u)=u(a-bu)$ (Logistic 型)であるとき、次の２者択一定理(spreading-vanishing dichotomy)を証明した：

定理１　[Du-Lin,2010]
次の２つのいずれかが起こる
(a) Spreading

$$\lim_{t\to\infty} h(t) = \infty,$$
$$\lim_{t\to\infty} u(t,x) = a/b\ （[0,\infty)\ 上広義一様）$$

(b) Vanishing

$$\lim_{t\to\infty} h(t) < \infty,$$
$$\lim_{t\to\infty} \max_{0\le x\le h(t)} |u(t,x)| = 0$$

さらに彼らは，spreading が起こるとき，$h(t)$の速度について次のことを得た．

定理２　[Du-Lin,2010]，[Du-Lou,2015]
初期条件に依存しないある定数 $c^*>0$ が存在して，spreading が起こるならば必ず

$$\lim_{t\to\infty} \frac{h(t)}{t} = c^*$$

が成り立つ．

この漸近挙動の分類と $h(t)$の漸近的速度が一意に定まるという結果は非線形項 $f(u)$が単安定，双安定，燃焼型のように正の安定平衡点を１つもつ場合に Du 教授と Lou 教授により拡張され，2015 年に論文として出版している．特に漸近的速度に関する結果に現れる c^*は次の semi-wave 問題により与えられることを示した：

$$\text{(SWP)} \begin{cases} q_{zz} - cq_z + f(q) = 0, q(z)>0, & z>0, \\ q(0)=0,\ \mu q_z(0)=c,\ q(\infty)=u^* \end{cases}$$

ここで u^*は $f(u^*)=0$ を満たす正の安定平衡点で（先述の Logistic 型非線形項ならば a/b）である．非線形項 $f(u)$が単安定，双安定，燃焼型の場合，ただ１つの $c^*>0$ が存在し，(SWP)はただ１つの解 $q^*(z)$をもつことが Du-Lou により得られている．Spreading が起こる場合，自由境界 $h(t)$の漸近的速度はこの解の組 $(c^*, q^*(z))$によって得られることを示した．$q^*(z)$は従来の反応拡散方程式の進行波の役割を担うもので semi-wave とよばれている．

この流れの中，研究代表者（松澤）は Du 教授，Zhou 氏との共同研究により spreading が起こる場合，$u(t,x)$の定義域全体における形状についても上述の $q^*(z)$の形状に漸近することを示した．

定理３　[Du-Matsuzawa-Zhou,2014]
非線形項 f を単安定，双安定，燃焼型のいずれか，対応する(SWP)の解の組を$(c^*, q^*(z))$とする．このとき spreading が起こるならば，ある定数 H が存在して次が成り立つ：

$$\lim_{t\to\infty}[h(t)-c^*t] = H,\ \lim_{t\to\infty} h'(t) = c^*$$
$$\lim_{t\to\infty} \max_{0\le x\le h(t)} |u(t,x) - q^*(h(t)-x)| = 0$$

この定理は，自由境界問題の解の定義域全体での解の形状について得られた結果である．自由境界問題(FBP)は空間高次元球対称の場合にも次のように拡張される：

(FBP:rad)

$$
\begin{cases}
u_t = \Delta_r u + f(u), & t > 0,\ 0 < r < h(t), \\
u_r(t,0) = u(t,h(t)) = 0, & t > 0, \\
h'(t) = -\mu u_r(t,h(t)), & t > 0, \\
h(0) = h_0,\ u(0,r) = u_0(t), & 0 \le r \le h_0.
\end{cases}
$$

$$\Delta_r = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{N-1}{r}\frac{\partial}{\partial r}$$

この場合についても，Du 教授，Zhou 氏との共同研究で次の結果を得た．

定理４　[Du-Matsuzawa-Zhou, 2015]
非線形項 f が単安定，双安定，燃焼型のいずれか，対応する(SWP)の解の組を$(c^*, q^*(z))$とする．このときある c_N>0 が存在して，spreading が起こるならば，ある定数 H が存在して次が成り立つ：

$$\lim_{t\to\infty} [h(t) - \{c^* t - c_N \log t\}] = H$$
$$\lim_{t\to\infty} h'(t) = c^*$$
$$\lim_{t\to\infty} \max_{0\le r\le h(t)} |u(t,r) - q^*(h(t)-r)| = 0$$

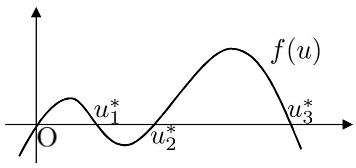
これは１次元と多次元で自由境界の進行速度に違い(log t のずれ)が現れることを示している．

２．研究の目的

現在までの結果は非線形項が単安定，双安定，燃焼型と正の安定平衡点が１つの場合に限られていた．一方，北アメリカに住む森林害虫であるトウヒノシントメハマキ（spruce budworm）の個体数密度のダイナミクスを表す非線形項は次のように与えられている（Aronson-Ludwig-Weinberger(1979)）：

$$f(u) = ru\left(1 - \frac{u}{q}\right) - \frac{u^2}{1+u^2}$$

この非線形項は r と q がある条件を満たすと次のように正の安定平衡点を２つ（下図のu_1^*, u_3^*）をもつ：



このような非線形項をもつ場合，河合氏と山田教授は 2016 年に発表した論文で positive bistable 型と名付け，対応する問題(FBP)の解の漸近挙動は４つに分類され，特に次の２種類の spreading が現れることが示された：

(S) Small Spreading

$$\lim_{t\to\infty} h(t) = \infty$$
$$\lim_{t\to\infty} u(t,x) = u_1^* \quad (\text{[0,\infty) 上広義一様})$$

(B) Big Spreading

$$\lim_{t\to\infty} h(t) = \infty$$
$$\lim_{t\to\infty} u(t,x) = u_3^* \quad (\text{[0,\infty) 上広義一様})$$

それぞれの spreading に対応する自由境界の漸近的速度や $u(t,x)$の形状を調べるには(SWP)で$u^* = u_1^*$とした(SWP1)，$u^* = u_3^*$とした(SWP3)の解の構造を調べる必要がある．$f(u)$ は$[0, u_1^*]$で単安定であるため，先の Du-Lou(2015)の結果により(SWP1)はいつでも解$(c_S, q_S(z))$をもつ．したがって，small spreading の場合について自由境界の漸近的速度および $u(t,x)$の漸近的形状については定理２と定理３と同じ結果が得られる．一方，(SWP3)は解をもつ場合と持たない場合があることが河合氏と山田教授との研究で得られている．(SWP3)が一意解$(c_B, q_B(z))$をもつ場合，big spreading の場合の自由境界の漸近的速度および $u(t,x)$の漸近的形状については定理２と定理３と同じ結果が得られる．一方，(SWP3)が解をもたない場合，big spreading の解の自由境界

の漸近的速度は(SWP1)の解$(c_S, q_S(z))$の c_S つまり，small spreading と同じであることまで河合氏と山田教授の研究で示されている．一方，この場合の解の漸近的形状は数値計算で段丘状の形状をもつ解(テラス解)であることが示唆されている．そこで本研究の目的は以下の３つである．

(1)　多安定型の非線形項についてテラス解が現れることを数学的に証明すること．
(2) 空間高次元球対称の場合(FBP:rad)，
positive bistable 型の非線形項を持つ場合に解の漸近挙動の分類を行うこと．
(3) (2)に次いで，(FBP:rad)の解の漸近的形状を明らかにすること．

３．研究の方法

本研究のおいて必要な理論は放物型方程式の正則性理論，比較原理，力学系理論および放物型方程式の解の零点数理論である．特に，テラス上の解の形状を大まかにとらえるために比較原理に基づく比較関数を順序良く構成することが非常に重要である．解の形状を大まかにとらえると，テラス上の解は１つの解の中に２つの伝播速度が混在することがわかり，２つの速度に対応した座標変換と正則性理論を用いることにより，テラス状の解の各段が異なる２つの関数（進行波と semi-wave（４．研究成果参照））で構成されることが明らかになった．これらの手法は自由境界問題特有の手法と従来の反応拡散方程式の手法を組み合わせることにより成し遂げられる。そのために以下のような研究集会に参加し，関連する研究の情報収集，参加者との研究討論を行った．特に研究代表者は次の研究集会へ出席し研究発表を行った．
・Equadiff 2017，ブラチスラバ，スロバキア
・12th AIMS conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications，国立台湾大学，台湾
・Equadiff 2019，ライデン大学，オランダ
また，2018 年度は Du 教授（Armidale，オーストラリア）を訪問した．また，2019 年度は Liang 教授（合肥，中国）を訪問し，そこに訪問中の Du 教授と研究討論を行った．

４．研究成果

目的(1)について

(SWP3)が解をもたないとき，big spreading の解の形状について，自由境界付近は semi-wave $q_S(z)$を用いて近似されるが，それだけではなくこの semi-wave の速度 c_S より遅い次の解として得られる進行波が用いられることがわかった：

$$\text{(TWP)}\begin{cases} Q_{zz} - cQ_z + f(Q) = 0, \quad z \in \mathbb{R}, \\ Q(-\infty) = u_1^*,\ Q(0) = (u_1^* + u_3^*)/2,\ Q(\infty) = u_3^* \end{cases}$$

f は $[u_1^*, u_3^*]$ で双安定なので，ただ１つの $c_0>0$ が存在し，(TWP)はただ１つの解 $Q_0(z)$をもつ．この解(c_0, Q_0)を用いて big spreading の解の形状が記述される．

定理５　[Kaneko-Matsuzawa-Yamada, 2020]
(SWP3)が解をもたない場合，big spreading が起こるならば，ある定数 H_1，H_2 が存在して次が成り立つ：

$$\lim_{t\to\infty}[h(t) - c_S t] = H_1,\ \lim_{t\to\infty} h'(t) = c_S$$

さらに，任意の $c \in (c_0, c_S)$ に対して次が成り立つ：

$$\lim_{t\to\infty} \max_{ct\le x\le h(t)} |u(t,x) - q_S(h(t)-x)| = 0$$
$$\lim_{t\to\infty} \max_{0\le x\le ct} |u(t,x) - Q_0(c_0 t + H_2 - x)| = 0$$

この結果により，(SWP3)が解をもたない場合，big spreading の解は速度が速い semi-wave q_S に速度が遅い進行波 Q_0 を積み重ねたテラス状の解であることを数学的に明らかにしたことになる．

目的(2)について

非線形項が positive bistable 型のとき(FBP:rad)についても 1 次元の場合と同様に解の漸近挙動は４つに分類されることが示された：

定理６ [Kaneko-Matsuzawa-Yamada, 2022] **次の４つのうちいずれかが起こる：**

(1) Vanishing

$$\lim_{t\to\infty} h(t) < \infty$$
$$\lim_{t\to\infty} \max_{0\le r\le h(t)} |u(t,r)| = 0$$

(2) Small Spreading

$$\lim_{t\to\infty} h(t) = \infty$$
$$\lim_{t\to\infty} u(t,r) = u_1^* \quad ([0,\infty) \text{ 上広義一様})$$

(3) Big Spreading

$$\lim_{t\to\infty} h(t) = \infty$$
$$\lim_{t\to\infty} u(t,r) = u_3^* \quad ([0,\infty) \text{ 上広義一様})$$

(4) Transition

$$\lim_{t\to\infty} h(t) = \infty$$
$$\lim_{t\to\infty} u(t,r) = V_{\mathrm{dec}}(r) \quad ([0,\infty) \text{ 上広義一様})$$

$V_{\mathrm{dec}}(r)$**は次の満たす唯一の単調減少な関数**

$$\begin{cases} V_{rr} + \dfrac{N-1}{r}V_r + f(V) = 0, \ r > 0, \\ V'(0) = 0, \ \displaystyle\lim_{r\to\infty} V(r) = u_3^* \end{cases}$$

証明は対応する定常解構造の解析に帰着されるが，空間１次元の場合と異なり相平面解析が使えない．そこで常微分方程式の初期値問題に関する結果と外部領域における Liouville **型定理を用いることが鍵であった．**

目的(3)について

定理７ [Kaneko-Matsuzawa-Yamada, preprint]
(SWP3)**が解をもたない場合，ある** $c_N>0$ **が存在して，**big spreading **が起こるならば，ある定数** H_1**，** H_2 **と** $L>0$ **が存在して次が成り立つ：**

$$\lim_{t\to\infty} [h(t) - \{c_S t - c_N \log t\}] = H_1$$
$$\lim_{t\to\infty} h'(t) = c_S$$
$$\lim_{t\to\infty} \max_{[c_S t - L\log t, h(t)]} |u(t,r) - q_S(h(t)-r)| = 0$$
$$\lim_{t\to\infty} \max_{[0, c_S t - L\log t]} \left| u(t,r) - Q_0\left(c_0 t - \frac{N-1}{c_0}\log t + H_2 - r\right)\right| = 0$$

この結果により高次元球対称の場合についても $u(t,r)$**の定義域** $[0, h(t)]$**全体での解の形状は，それぞれに** $\log t$ **のずれを含む** semi-wave **と進行波を重ねてできるテラス状の解が現れることを，数学的に明らかにすることに成功した．**

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計6件（うち査読付論文　6件／うち国際共著　1件／うちオープンアクセス　0件）

1．著者名	4．巻
Yuki Kaneko, Hiroshi Matsuzawa, Yoshio Yamada	52
2．論文標題 Asymptotic profiles of solutions and propagating terrace for a free boundary problem of nonlinear diffusion equation with positive bistable nonlinearity	5．発行年 2020年
3．雑誌名 SIAM Journal on Mathematical Analysis	6．最初と最後の頁 65-103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1137/18M1209970	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名	4．巻
Hiroshi Matsuzawa	17
2．論文標題 A free boundary problem for the Fisher-KPP equation with a given moving boundary	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Communications on Pure and Applied Analysis	6．最初と最後の頁 1821-1852
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3934/cpaa.2018087	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名	4．巻
Yuki Kaneko and Hiroshi Matsuzawa	265
2．論文標題 Spreading and vanishing in a free boundary problem for nonlinear diffusion equations with a forced given moving boundary	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Journal of Differential Equations	6．最初と最後の頁 1000-1043
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jde.2018.03.026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名	4．巻
Yuki Kaneko, Hiroshi Matsuzawa and Yoshio Yamada	42
2．論文標題 A free boundary problem of nonlinear diffusion equation with positive bistable nonlinearity in high space dimension I : classification of asymptotic behavior	5．発行年 2022年
3．雑誌名 Discrete and Continuous Dynamical Systems	6．最初と最後の頁 2719-2745
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3934/dcds.2021209	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Chengxia Lei, Hiroshi Matsuzawa, Rui Penga and MaolinZhou	4．巻 265
2．論文標題 Refined estimates for the propagation speed of the transition solution to a free boundary problem with a nonlinearity of combustion type	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Journal of Differential Equations	6．最初と最後の頁 2897-2920
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jde.2018.04.053	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 Hiroshi Matsuzawa, Harunori Monobe, Masahiko Shimojo and Eiji Yanagida	4．巻 71
2．論文標題 Convergence to a traveling wave in the logarithmic diffusion equation with a bistable nonlinearity	5．発行年 2022年
3．雑誌名 Indiana University Mathematics Journal	6．最初と最後の頁 125-151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1512/iumj.2022.71.8850	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

〔学会発表〕　計22件（うち招待講演　17件／うち国際学会　6件）

1．発表者名 松澤寛
2．発表標題 多安定型非線形項をもつ反応拡散方程式の自由境界問題について
3．学会等名 第 727 回応用解析研究会（招待講演）
4．発表年 2020年

1．発表者名 Hiroshi Matsuzawa
2．発表標題 Asymptotic profiles of solutions and propagating terrace for a free boundary problem of nonlinear diffusion equation with positive bistable nonlinearity
3．学会等名 Equadiff 2019（国際学会）
4．発表年 2019年

１．発表者名 松澤寛
２．発表標題 Asymptotic profiles of solutions and propagating terrace for a free boundary problem of a multistable reaction-diffusion equation
３．学会等名 微分方程式の総合的研究（招待講演）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Hiroshi Matsuzawa
２．発表標題 Asymptotic profiles of solutions and propagating terrace for free boundary problems of multistable reaction diffusion equations
３．学会等名 Qualitative Theory on Nonlinear Partial Differential Equations（招待講演）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Hiroshi Matsuzawa
２．発表標題 Spreading and vanishing for a free boundary problem of a reaction diffusion equation with a multi-stable type nonlinearity in high space dimensions
３．学会等名 Recent Trends in Ordinary Differential Equations and Their Developments（招待講演）
４．発表年 2019年

１．発表者名 松澤寛
２．発表標題 多安定型非線形項をもつ反応拡散方程式の自由境界問題とその解の漸近的形状について
３．学会等名 第４回「解析学とその周辺」@野田（招待講演）
４．発表年 2019年

１．発表者名
松澤寛

２．発表標題
多安定型非線形項をもつ反応拡散方程式の自由境界問題における解の漸近的形状について

３．学会等名
日本数学会2019年度秋季総合分科会，応用数学分科会特別講演（招待講演）

４．発表年
2019年

１．発表者名
松澤寛

２．発表標題
Asymptotic profiles of solutions and propagating terrace for a free boundary problem of reaction diffusion equation with a nonlinearity of multi-stable type

３．学会等名
長崎偏微分方程式セミナー（招待講演）

４．発表年
2019年

１．発表者名
松澤寛

２．発表標題
Positive bistable型非線形項をもつ反応拡散方程式の自由境界問題における解の漸近的形状について

３．学会等名
九州関数方程式セミナー（招待講演）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Hiroshi Matsuzawa（共同発表者：Yuki Kaneko, Yoshio Yamada）

２．発表標題
Spreading profile of solutions for a free boundary problem of a nonlinear diffusion equation with a positive bistable nonlinearity

３．学会等名
12th AIMS conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Hiroshi Matsuzawa（共同発表者：Yuki Kaneko）

２．発表標題
Spreading and vanishing in a free boundary problem for nonlinear diffusion equations with a given forced moving boundary

３．学会等名
12th AIMS conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Hiroshi Matsuzawa

２．発表標題
Spreading and vanishing in a free boundary problem for nonlinear diffusion equations with a given forced moving boundary

３．学会等名
Theoretical Developments to Phenomenon Analyses based on Nonlinear Evolution Equations（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
松澤寛

２．発表標題
Asymptotic profiles of solutions and propagating terrace for a free boundary problem of nonlinear diffusion equation with positive bistable nonlinearity

３．学会等名
研究集会「楕円型・放物型微分方程式研究集会」（招待講演）

４．発表年
2018年

１．発表者名
松澤寛

２．発表標題
Asymptotic profiles of solutions and propagating terrace for a free boundary problem of nonlinear diffusion equation with positive bistable nonlinearity

３．学会等名
研究集会「反応拡散系のパターン形成とその応用」（招待講演）

４．発表年
2019年

１．発表者名 松澤寛
２．発表標題 Spreading speed and asymptotic profile for nonlinear Stefan problem in high space dimensions
３．学会等名 研究集会「Critical exponent and nonlinear evolution equations」（招待講演）（国際学会）
４．発表年 2019年

１．発表者名 Hiroshi Matsuzawa
２．発表標題 A free boundary problem for nonlinear diffusion equations with a given forced moving boundary
３．学会等名 Equadiff2017（国際学会）
４．発表年 2017年

１．発表者名 松澤寛，兼子裕大
２．発表標題 A free boundary problem for nonlinear diffusion equations with a given forced moving boundary
３．学会等名 第43回発展方程式研究会
４．発表年 2017年

１．発表者名 松澤寛
２．発表標題 あるFisher-KPP方程式の自由境界問題について
３．学会等名 日本数学会2018年度春季年会（函数方程式論分科会）
４．発表年 2018年

１．発表者名
松澤寛

２．発表標題
A free boundary problem of reaction diffusion equation with a multi-stable type nonlinearity in high space dimensions

３．学会等名
第46回偏微分方程式論札幌シンポジウム（招待講演）

４．発表年
2021年

１．発表者名
松澤寛

２．発表標題
A nonlinear Stefan problem with a multi-stable nonlinearity in high space dimensions

３．学会等名
第62回南大阪応用数学セミナー（招待講演）

４．発表年
2022年

１．発表者名
松澤寛

２．発表標題
高次元空間における多安定型非線形項をもつ反応拡散方程式の自由境界問題について

３．学会等名
日本数学会2022年度春季年会，函数方程式論分科会特別講演（招待講演）

４．発表年
2022年

１．発表者名
松澤寛，兼子裕大

２．発表標題
Spreading and vanishing in a free boundary problem for nonlinear diffusion equations with a given forced moving boundary

３．学会等名
日本数学会2018年度秋季総合分科会（函数方程式論分科会）

４．発表年
2018年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

松澤　寛 web site/ Hiroshi Matsuzawa's Website https://www.sci.kanagawa-u.ac.jp/math-phys/hmatsu/

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究協力者	山田　義雄 (Yamada Yoshio) (20111825)	早稲田大学・理工学術院・名誉教授 (32689)	
研究協力者	兼子　裕大 (Kaneko Yuki) (40773916)	日本女子大学・理学部・助教 (32670)	

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	Jiangsu Normal University			