

大型ヘリカル装置における 新しい突発現象の発見とそのメカニズムの解明 ～亜臨界不安定性の発見～

井戸 毅、伊藤公孝、長壁正樹、清水昭博、小川国大、
東井和夫、西浦正樹、加藤眞治、居田克巳、

LHD実験グループ

核融合科学研究所、総合研究大学院大学

レシュール マキシム*、佐々木真、稲垣滋、伊藤早苗

九州大学 応用力学研究所、極限プラズマ研究連携センター

(* 現所属 フランス ロレーヌ大学)

アメリカ物理学会

「Physical Review Letters」に掲載

12月下旬予定



九州大学

PHYSICAL REVIEW LETTERS

moving physics forward

- ① Strong destabilization of stable modes with a half-frequency associated with chirping geodesic acoustic modes in the Large Helical Device

Phys. Rev. Lett.

T. Ido, K. Itoh, M. Osakabe, M. Lesur, A. Shimizu, K. Ogawa, K. Toi, M. Nishiura, S. Kato, M. Sasaki, K. Ida, S. Inagaki, and S. -I. Itoh

Accepted 20 October 2015

論文タイトル:

大型ヘリカル装置における周波数掃引測地線音響モード励起に伴う半周波数安定モードの強い励起現象

- ② Nonlinear excitation of subcritical instabilities in a toroidal plasma

Phys. Rev. Lett.

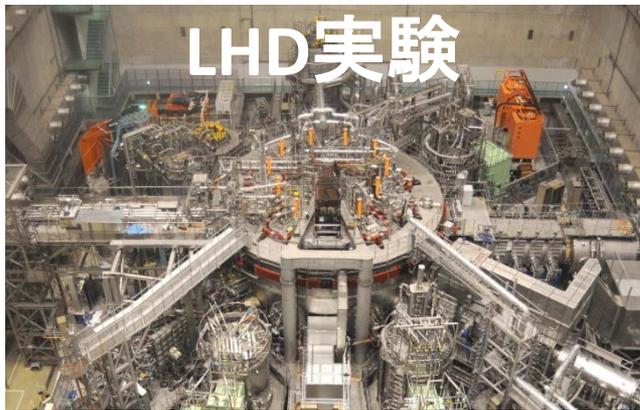
M. Lesur, K. Itoh, T. Ido, M. Osakabe, K. Ogawa, A. Shimizu, M. Sasaki, K. Ida, S. Inagaki, and S. -I Itoh

Accepted 20 October 2015

論文タイトル:

トロイダルプラズマにおける亜臨界不安定性の非線形励起

研究組織

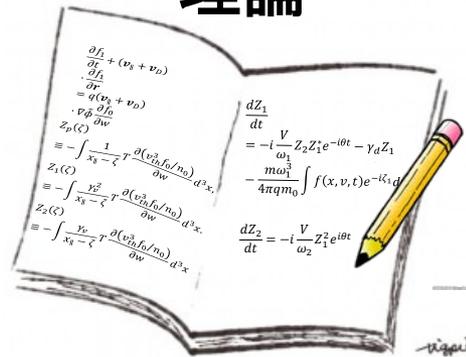


LHD実験

井戸 毅, 清水昭博



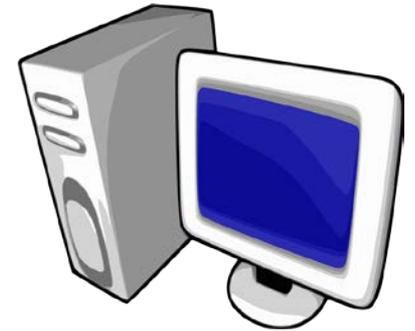
理論



伊藤公孝, 伊藤早苗



シミュレーション



マキシム・レシユール

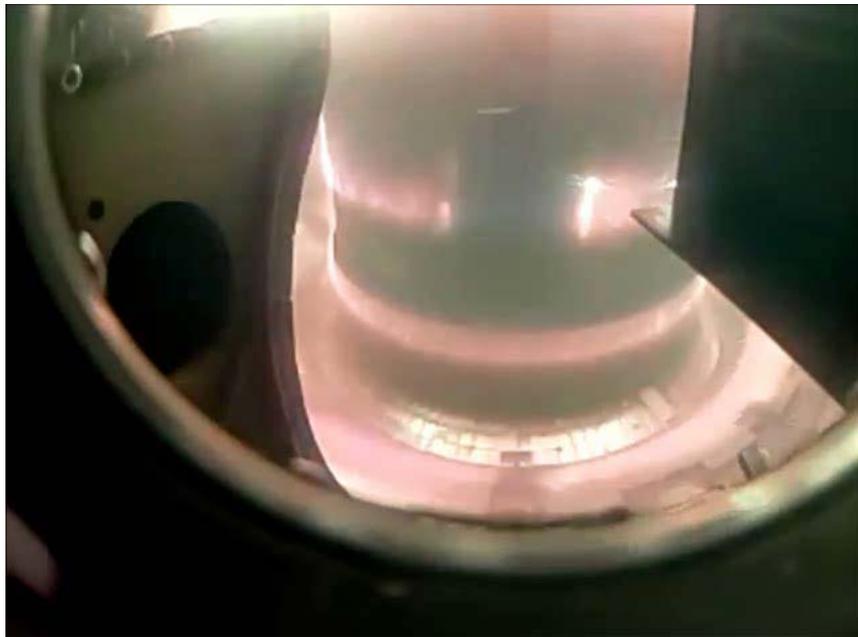


研究の背景

～プラズマ中に見られる突発現象～

磁場閉じ込めプラズマ

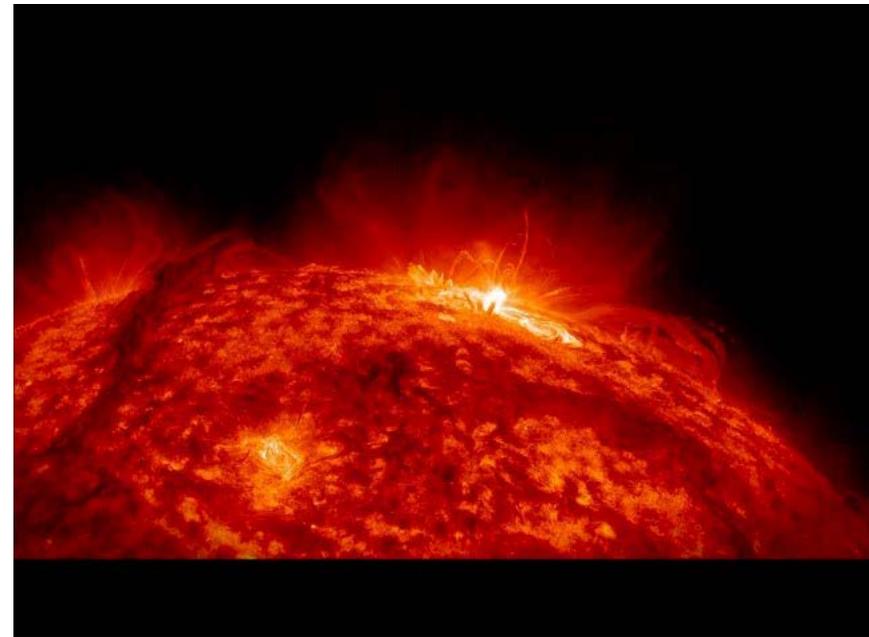
ディスラプション (Alcator C-mod tokamak)



<https://www.youtube.com/watch?v=CUfR819hIDg>

宇宙プラズマ

太陽フレア



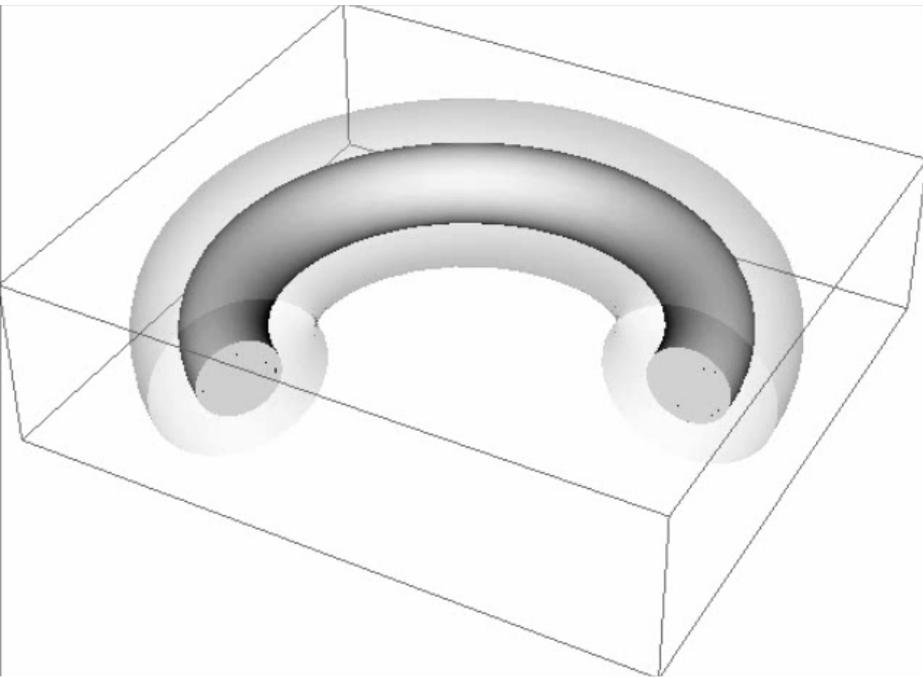
(http://www.nasa.gov/downloadable/videos/nasa_-_twisting_solar_eruption_and_flare.mp4)

突然、大きな揺らぎが急激に成長する。

⇒ なぜこのような突発現象が発生するのか？

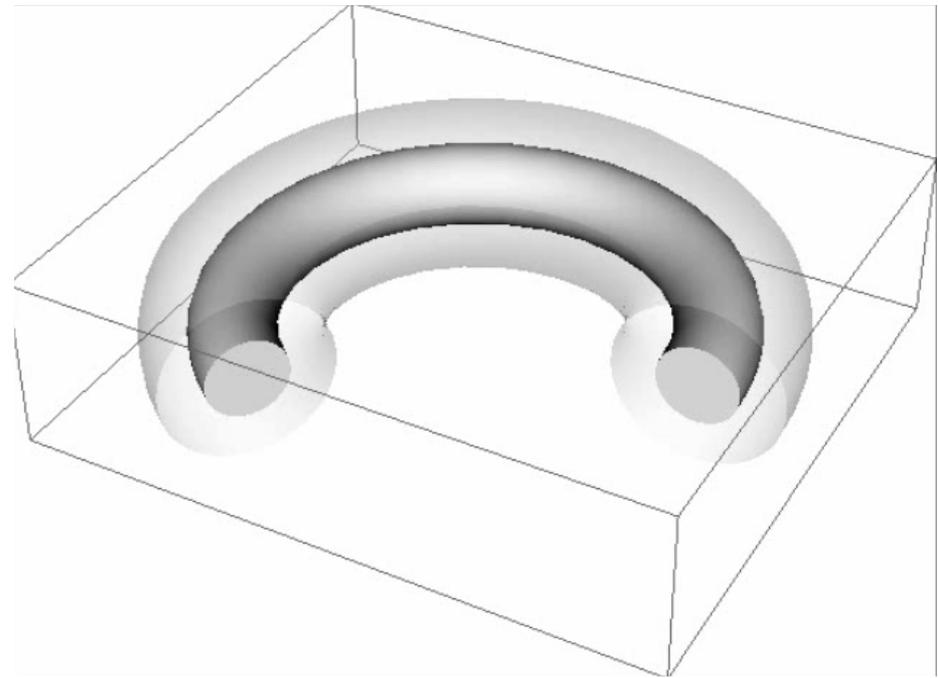
本研究で対象とする揺らぎ ～測地線音波～

電位で見た場合



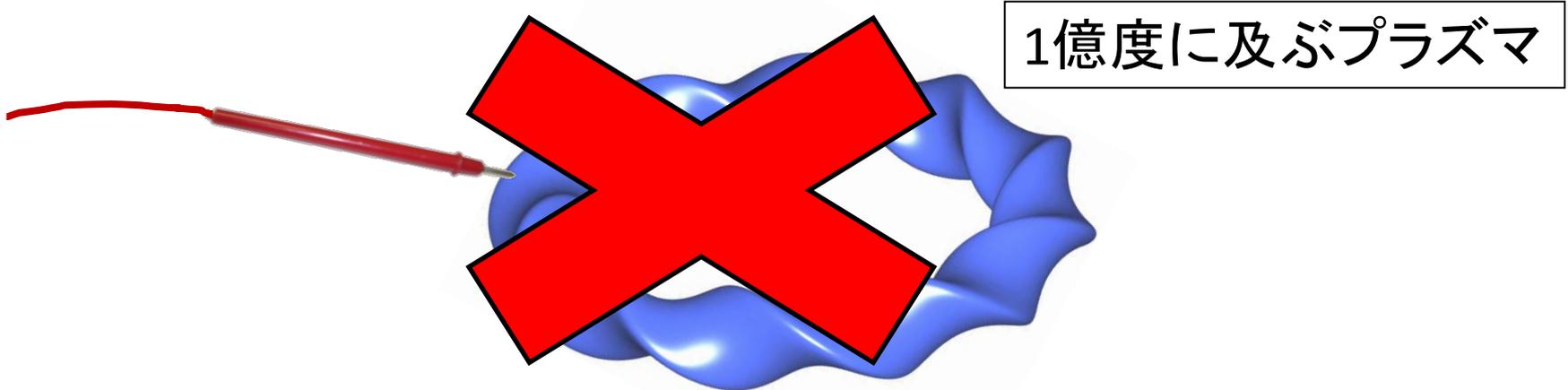
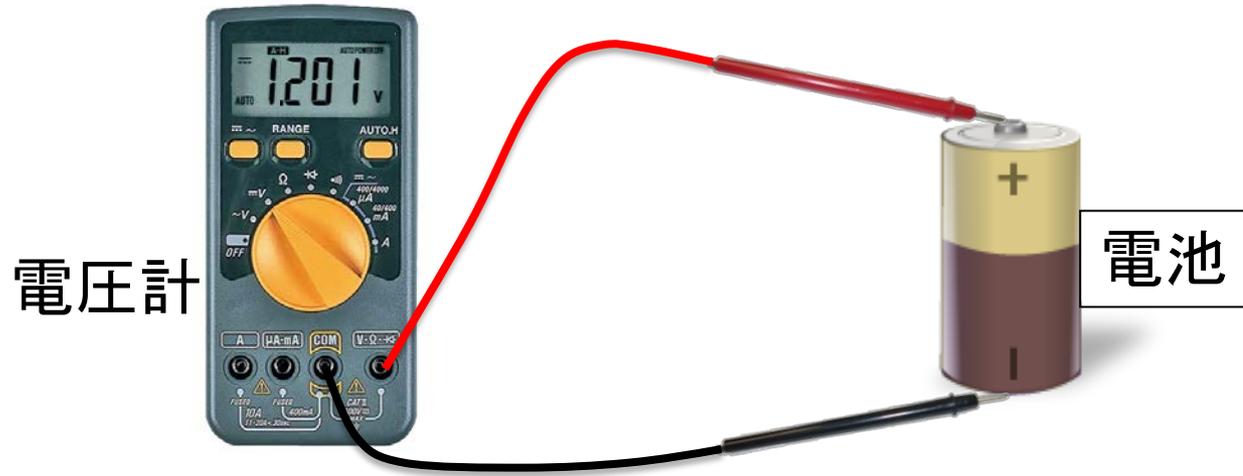
赤が電位が高い、青が低い

密度で見た場合



赤が密度が高い、青が低い

どうやって高温プラズマ内部の揺らぎを計測するか？



電極が壊れる。
高温度のプラズマを生成できない。

高温プラズマ内部の電位の計測手法 ～重イオンビームプローブ(HIBP)法～

電極の代わりにイオンビームを入射する。

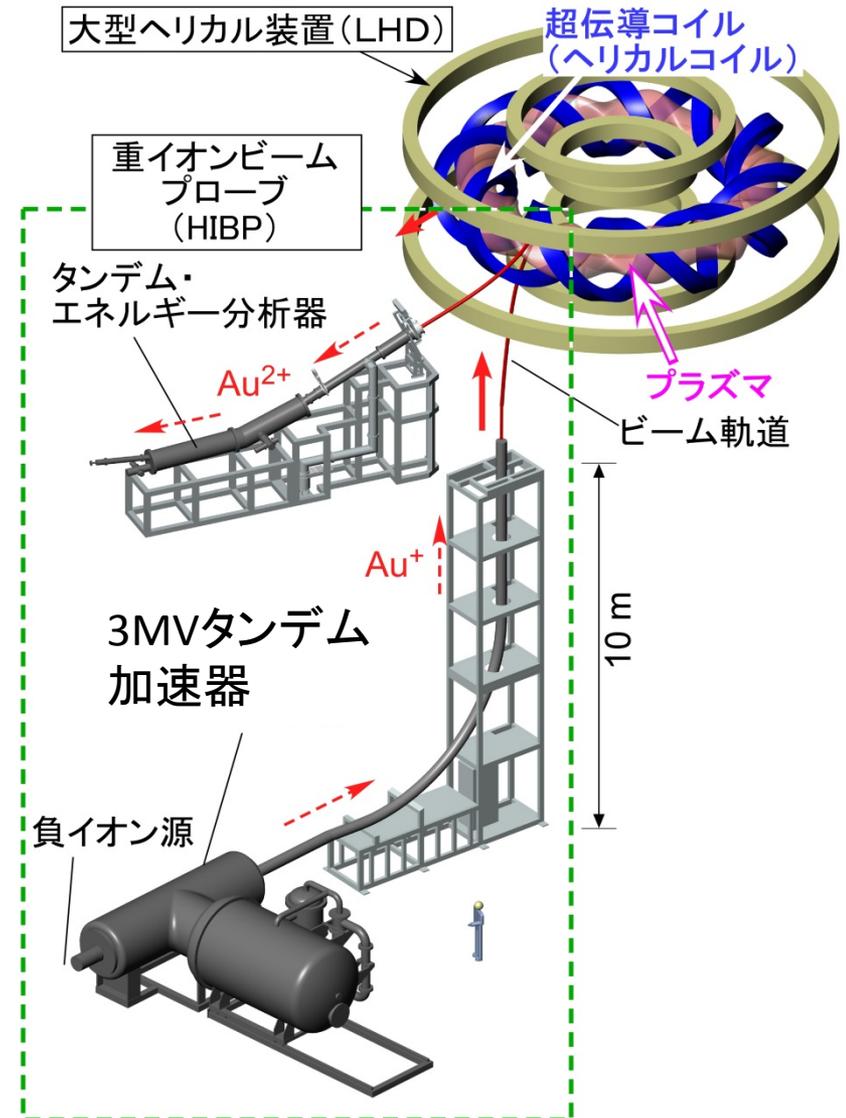
出てきたイオンの

エネルギーの変化

⇒ 電位の変化

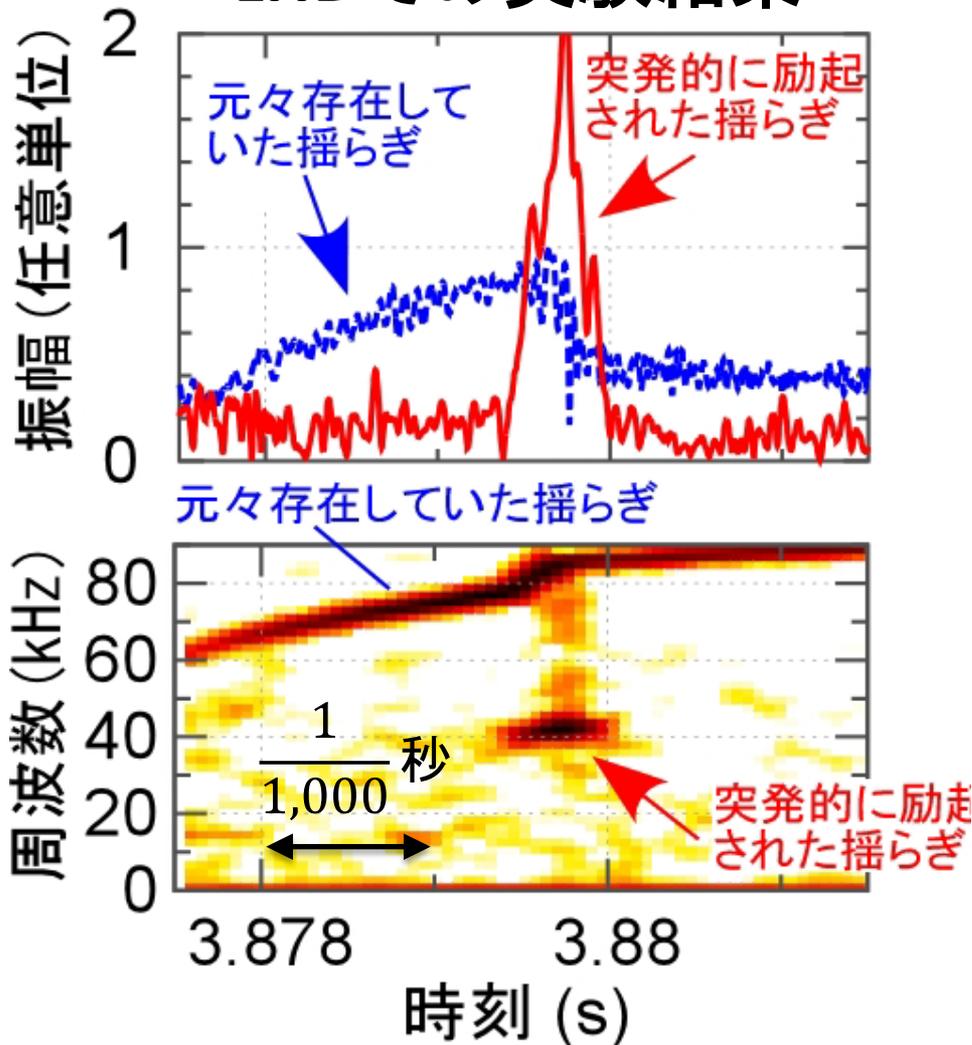
個数の変化

⇒ プラズマの密度の変化



突発的に発生する現象の発見

LHDでの実験結果

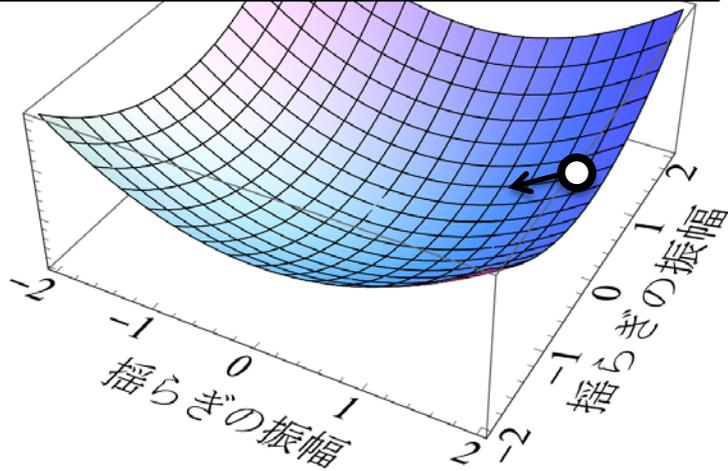


- 元々存在していた揺らぎが80kHzに達すると、その半分の周波数40kHzの揺らぎが突発的に発生。
- 元々存在していた揺らぎよりも大きい。

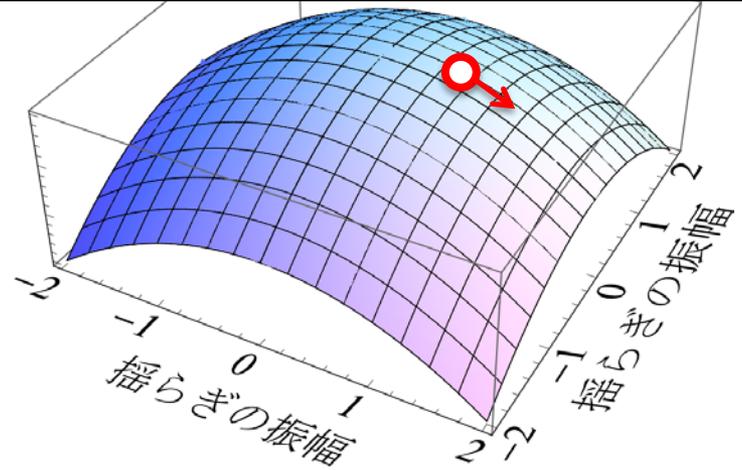
なぜ安定な(振幅が小さい)はずの揺らぎが、突然大きな揺らぎとして発生するのか？

安定な場合、不安定な場合

安定(揺らぎは成長しない)



不安定(揺らぎが成長する)



常に中心に戻る。(成長しない)

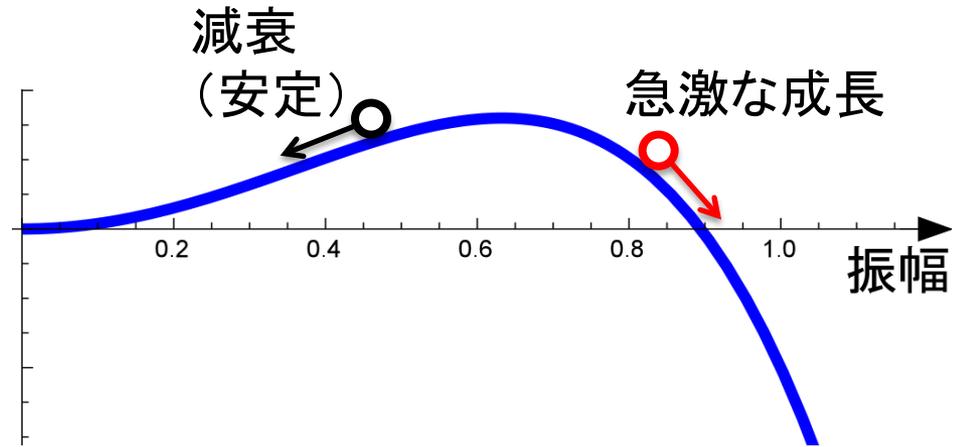
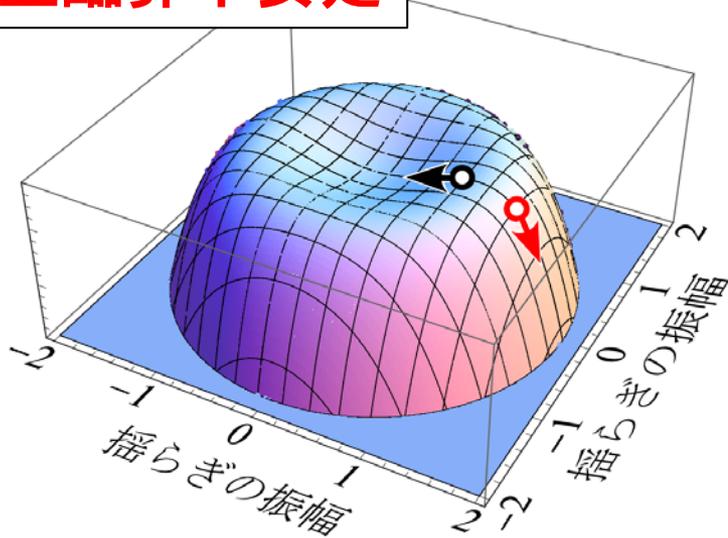


常に中心から離れていく。(成長する)

「安定」から「不安定」に変わった？ 突発的発生が説明できない。

“亜臨界不安定”とは

亜臨界不安定

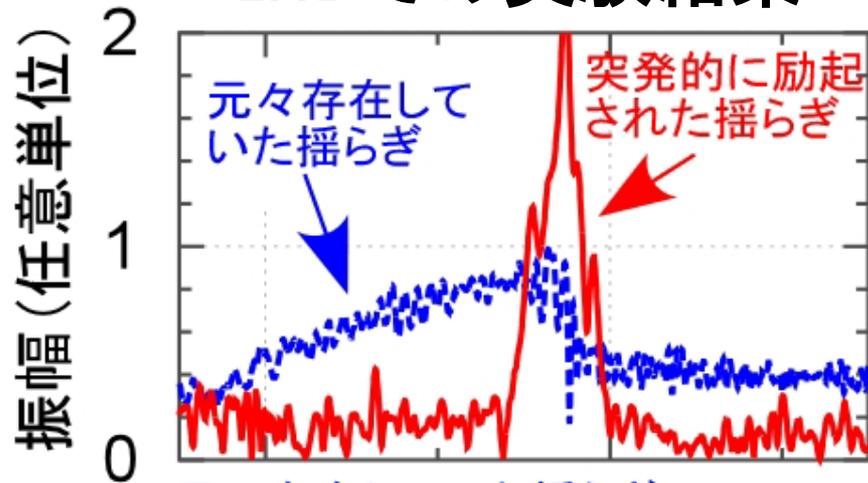


変化のきっかけを与えられ、その大きさがあるレベルと超ええると、突然大きな揺らぎが成長する。

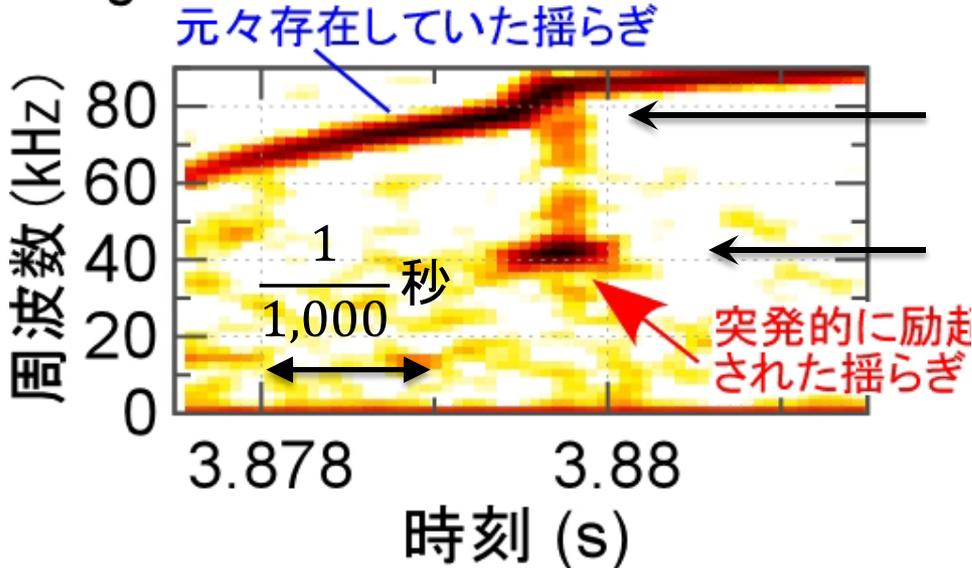
あるところまでは戻ってくるが、それ以上になると離れていく。

きっかけは何？

LHDでの実験結果



周期が揃うことによって
元々存在していた揺らぎが、
別の揺らぎを効率的に揺さ
ぶり始める。



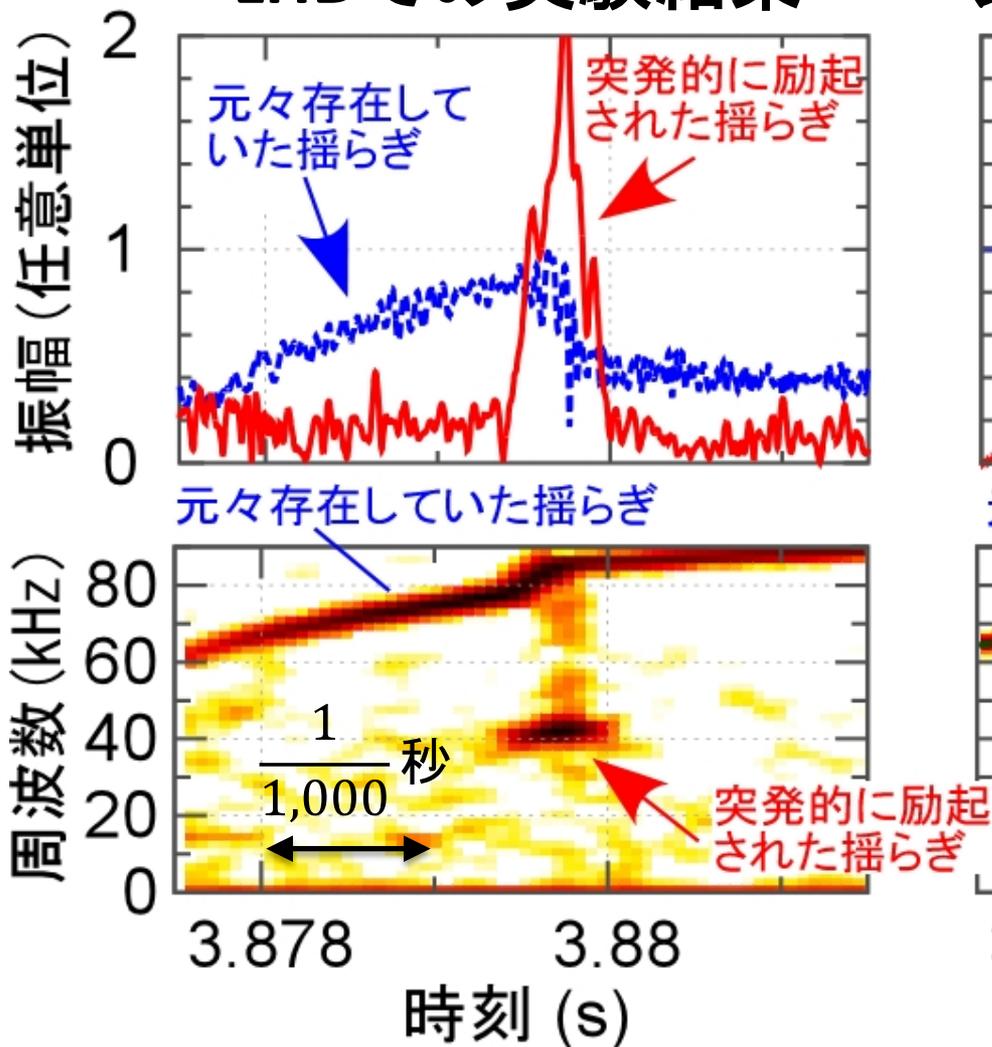
80 kHz

40 kHz

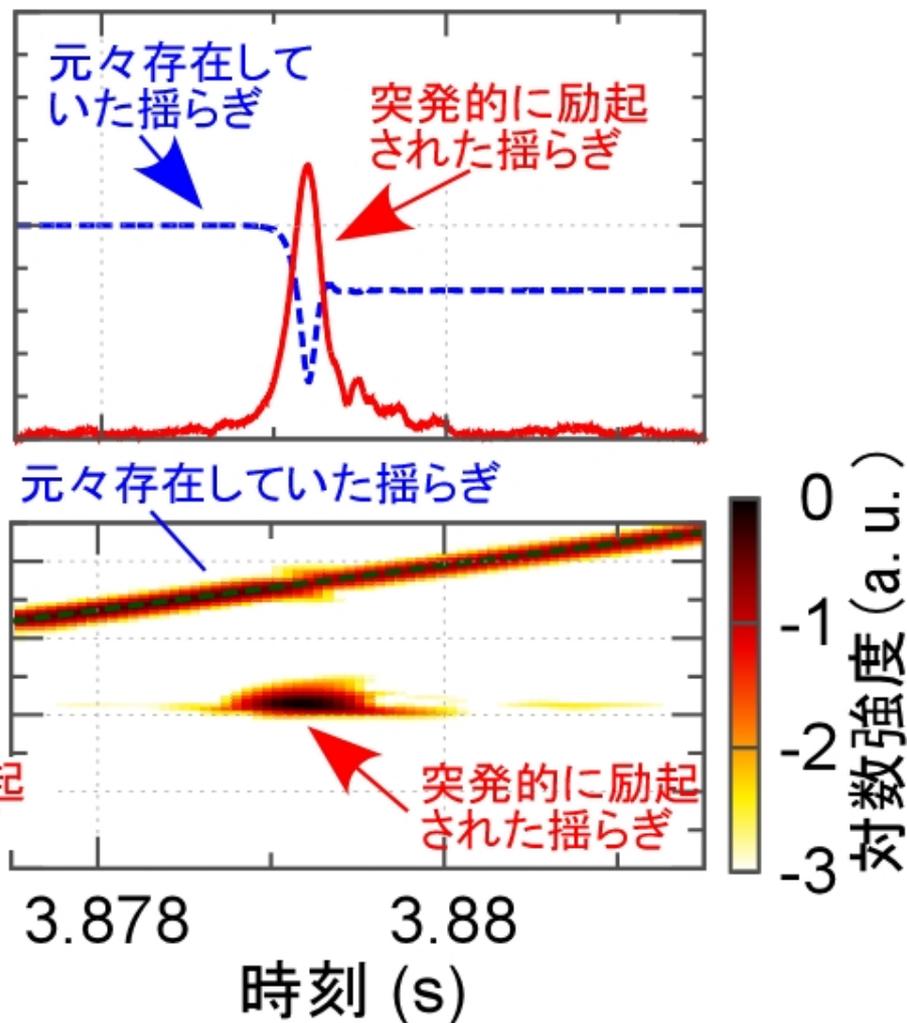
ちょうど2倍

理論の構築し、数値シミュレーションにより 実験結果を再現することに成功

LHDでの実験結果

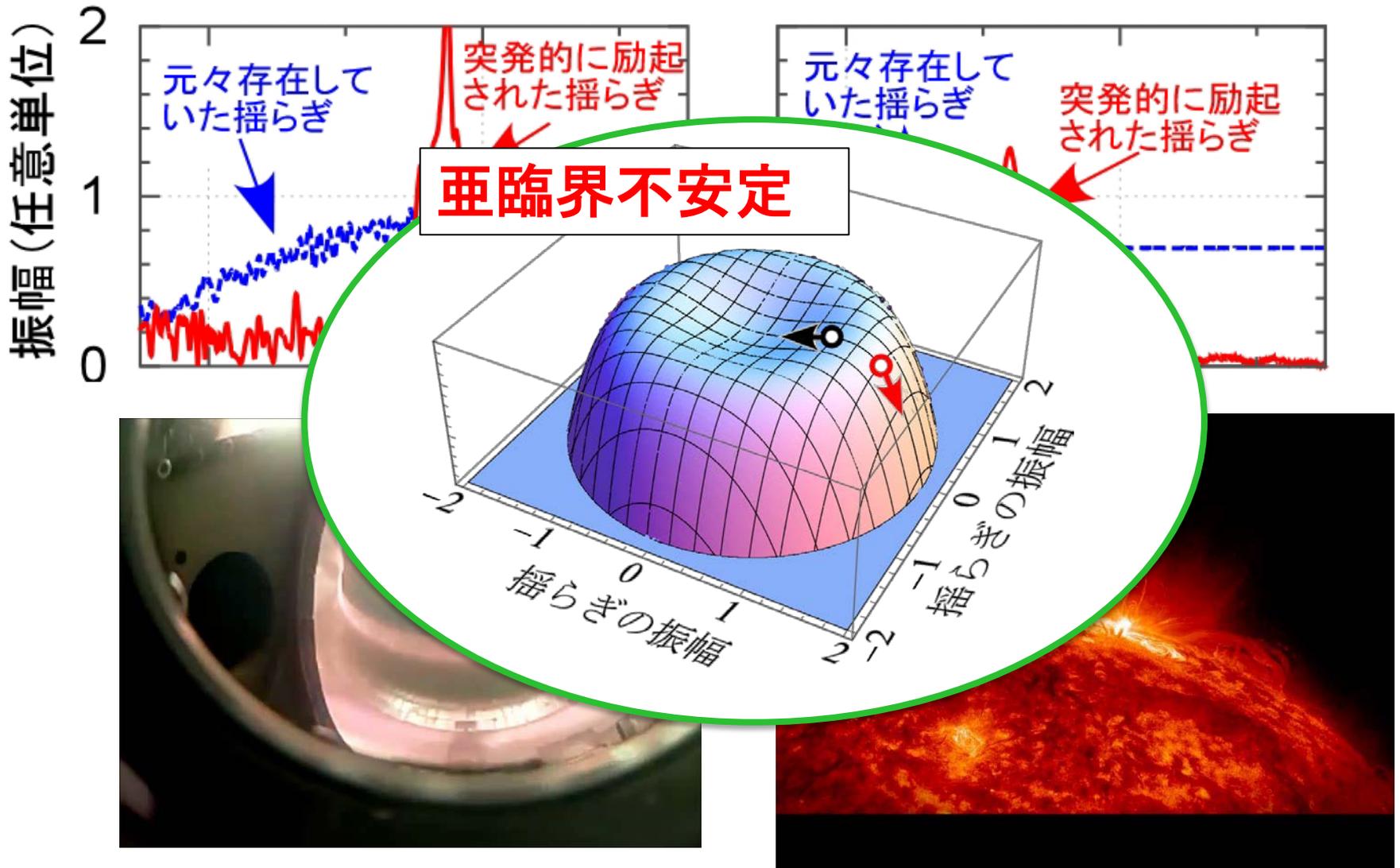


シミュレーションの結果



学術的な面での波及効果

“亜臨界不安定”という考え方が突発現象の理解の鍵になる。



まとめ

- 大型ヘリカル装置(LHD)において重イオンビームを用いた計測器を用いて、新しい揺らぎの突発的発生現象を発見しました。
- 九州大学との共同研究により、この現象のメカニズムを解明し、亜臨界不安定性であることを明らかにしました。
- ここで明らかにした亜臨界不安定という考え方は、核融合プラズマで見られるディスラプションや、太陽フレアのような突然起こる大規模現象のメカニズムを明らかにする上での指針となることが期待されます。