

3月8日(金)15:00~

於 工学研究科2号館南棟4階 241講義室

ロゲルギスト風に

梅村 章

ロゲルギストとは

Wikipediaの記載

Logos(言葉) + ergon(仕事) = Logergikに由来

1950年代末から数十年続いた物理学者の同人会

毎月集まって身近な物理現象から宇宙や生命現象、さらには社会現象にまで及ぶ広範な話題を取り上げて自由闊達な議論を交わし、その結果を踏まえ順次交代でエッセイ執筆

> 岩波書店「物理の散歩道」筆者名:ロゲルギスト

X

メンバー: 近角総信(C)・磯部孝(I)・近藤正夫(K)・木下是雄(K2)・高橋秀俊(T) + 大川章哉(O)・今井功(I2)

何故、このタイトルに

●ロゲルギストとの最初の出会い:

早大理工機械1年「機械工学概論」で配布された高橋秀俊のエッセイ

機械工学科に入学した学生に知っておいてもらいたい事柄を教える授業
レポートの書き方(カタカナ・ひらがな書きJIS規格、人の考えを借用したときには引用)等

●時代性? ユニバーシティーの香り —

嘗て「学問の殿堂」と言われていた「大学」に
どんなイメージを抱いていたかは
人によって異なる

知・思索・物の見方・概念化
お金の匂いがしない

資料:ロゲルギストT「読んでおけ」

高橋秀俊? 寺田寅彦を頭に描いて読む。内容に魅せられる。

●ロゲルギストのエッセイはユニバーシティーの香り放つ

色んな人がいて、色んなものに好奇心を抱く。それから生まれる知の魅力を伝える

●高等教育期間を通し、私を惹きつけ、記憶に残ったのは、

そんな感じのするものばかりであり、

この思いが研究生生活に入ってから尾を引いた。

心に残った授業

真面目な学生生活？

早大(学部)

50円の映画館、ボート同好会、現代文学研究会、初版小説買い、多くの講義はサボリ

- 名前を忘れた先生の力学：質点力学と剛体力学の繋がりを詳しく数式で説明する授業ベースの重要性を実感。 そうだ、なにも暗記する必要はないんだ！
- 奥村敦史先生の材料力学：講義のない授業の効能、考え方を重視したテキスト
- 機械工学実験・実習：TAが丁寧にレポート採点。考察の重要性を教えられた

東大(大学院)

やはり講義はサボりぎみ

出たい授業は朝一

教員になって後遺症の現れ：

- ①遊ぶ学生を叱る資格がない
- ②大学の講義の仕方がよく分からない

高野研の感化

卒研を行っている間に突如**乱流理論**を勉強したくなり大学院進学を決意(建前上)
佐藤浩先生にていよく断られ、同じ名前の高野暲先生の所に

研究室の構成

水ゼミ

高野暲先生

(基本的に何もおっしゃらない)

ノブノリ

大島信徳先生(計数工学科)(数理顧問):

金ゼミ

東野文男先生(東農工大): 衝撃波

菅原基晃先生(東女医大): 血液流

柘植俊一先生(筑波大): 乱流燃焼理論

うるさ方連

教官も院生と対等に輪番で研究発表と輪読を担当し、痛烈な批判をし合った!

暗黙の了解: 空気力学講座 → 一応流体力学には強いこと

黄昏の流体力学(理学部残存古典力学講座の消失前)の運命を感じ取り、

①単純流体から分散系多相流体へ

②解きあかせない乱流 一非線形性一反応性気体力学

に目が向けられていた。

当時(戦後)のトレンド: 第1原理から全て理解したい

そんな研究室の出身であるから隣を見ても真似できない

自分に都合の良い研究室運営方針

- ① 自分の研究(関心)と学生の研究(教育)は一応分離
(そうはいかない場合も多々あったが)
- ② 財政的問題の解消策

工学部: 効率を問題にするところ

対費用効果(成果/研究費)が気になる

極大化: 分母大はリスク大: 研究費 \rightarrow 0

実現方法: 紙と鉛筆

しかし、旅費に困る \rightarrow 科学研究費

講座費が浮く

\rightarrow 恩師を真似て、学生に好きなことをしてもらう

\rightarrow 様々な話一好みに合う

研究室運営方針(つづき)

③ 年中行事(秋の研究室旅行+食べ物作り(学期初め))

春(5月) 味噌田楽

豆腐(さかした)の大きさ(厚み、幅、長さ)と竹串の作り方が
難しいから



犬山・松野屋

安藤君



秋(9月→10月) 芋煮

山形:9月、河原で連日、工学部全体でも実施
どうやって作るの? レシピ

卒業生(安藤君)の家の畑で芋掘り

「長年の好意に感謝いたします」



弾性学

流体力学

燃焼科学

フラッター
殻振動
騒音

医学 人工心臓、肺疾患診断

ストークス流 (Batchelor)

地球物理学

マントル対流 (Busse, Lighthill)
液滴衝突 (C.K. Law,
ダウンバースト、飛行制御
[地球シミュレータ])

① 水跳ね

抵抗削減

角切欠平頭物体
(トラック4%燃費低減)

③ パラグライダー

回転失速

超音速燃焼場の流体力学的構造

超音速せん断層
スクリーチトーン
アイソレーター: 疑似衝撃波

衛星スラスタ液膜冷却

予混合火炎

拡散火炎

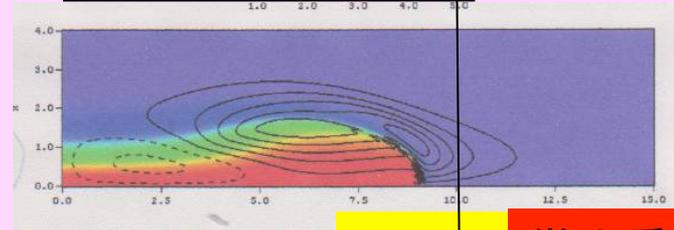
倒立火炎

噴霧群燃焼

② 近・超臨界噴霧燃焼

臨界遷移条件の同定、
蒸発様態領域図、
気化・着火・燃焼特性、
ジェット的不安定性

燃焼が引き起こす
過崩壊現象



微小重力実験

液滴間火炎伝播
バーコレーション理論

電線燃焼

2段燃焼

④ 乱流微粒化

初めての国際会議参加

① 第15回応用力学会議 (Toronto) 17-23/8/'80

② 第16回国際燃焼シンポ(Waterloo)17-22/8/'80

準定常蒸発燃焼問題

運動方程式: $\rho = \text{一定}$ (本来3つの式があるべき。1D OK)

速度(3自由度)の決定式になっていない
2自由度を捨てないと、ステファン流が無視できる場合以外、
方程式系は閉じない

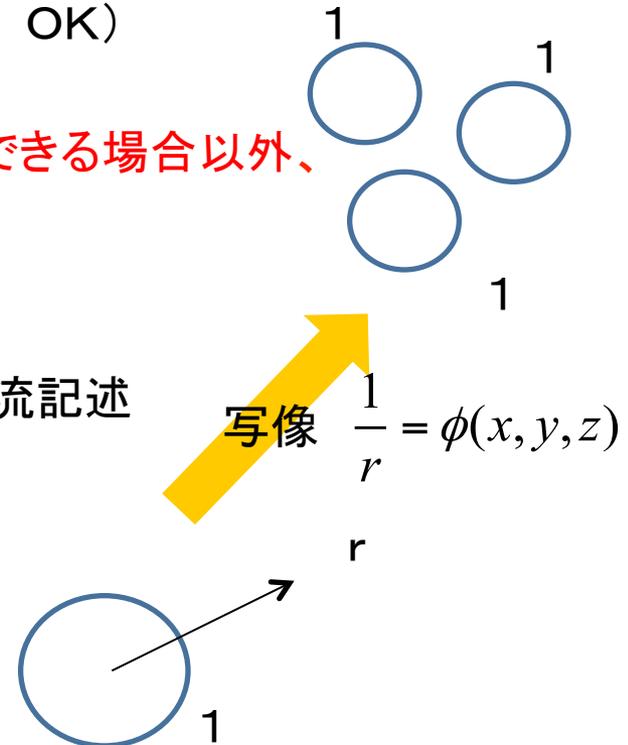
$$\rho \vec{v} = \nabla \phi + \nabla \times \vec{A} \quad \leftarrow \text{追放}$$

質量流束ポテンシャル: フーリエ・フィック則によるステファン流記述

連続の式: $\nabla \cdot \rho \vec{v} = \nabla^2 \phi = 0$

スカラー方程式: $\nabla \cdot [\rho \vec{v} \beta - \rho D \nabla \beta] = |\nabla \phi|^2 \left[\beta - \rho D \frac{d\beta}{d\phi} \right] = 0$

$$\beta = C_1 + C_2 \exp\left(\frac{\phi}{\rho D}\right) \quad \text{単一液滴で決定}$$

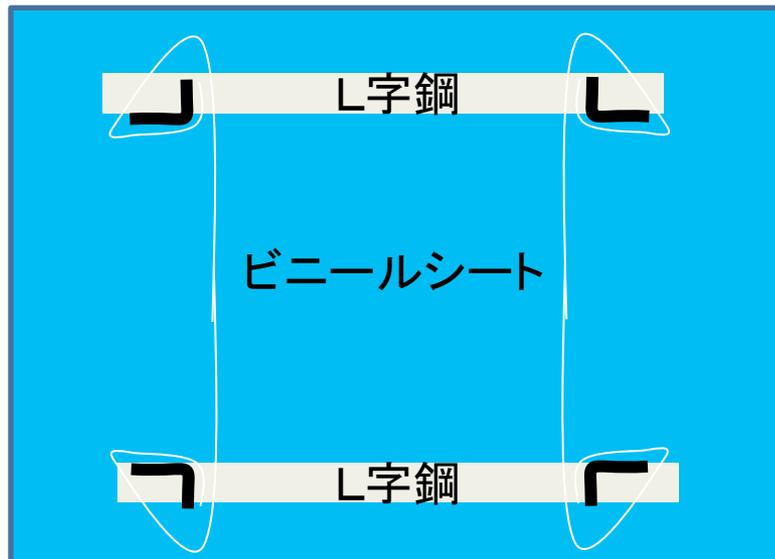


初夏向きの卒業研究実験 「走行車による水跳ねの研究」



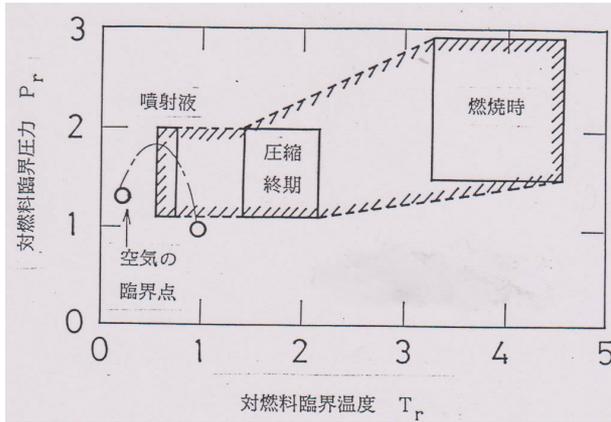
山形に行って最初に行った研究の一つ
米沢：豪雪地域—融雪道路—水溜り—水跳ね
実地調査失敗：
ビデオカメラを構えて待ち受けていると、
どの車も減速して期待する画像が取れない
卒業式間際にしかできない
→初夏に大学内でできる実験の工夫
運転技術に自信のある学生が活躍

水跳ねの様相



車の片輪を通過させるプール

最速液滴燃焼圧力



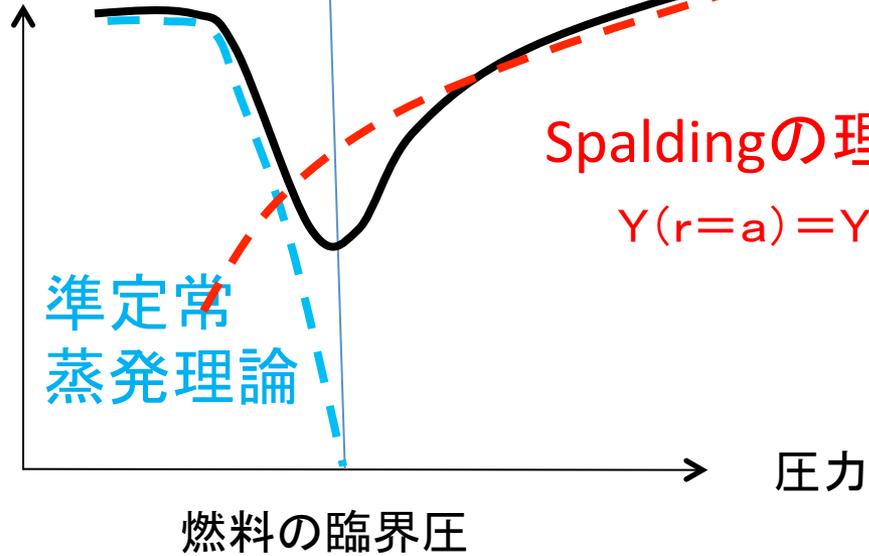
ディーゼル噴霧が経験する圧力温度範囲

雰囲気気ガス温度 T_g
 $>$ 燃料臨界温度 T_c

燃料
液滴

液滴の
燃焼時間

Faethらによる
微小重力実験



Spaldingの理論

$$Y(r=a) = Y_c$$

準定常
蒸発理論

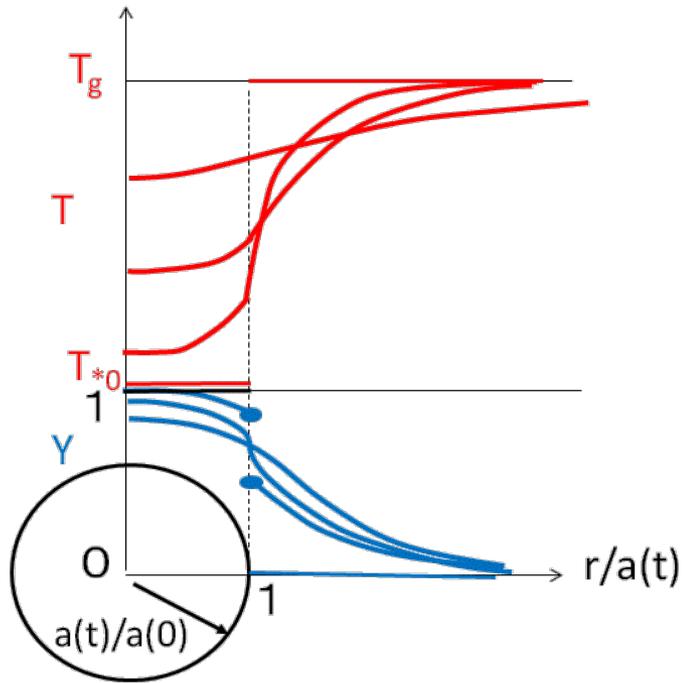
燃料の臨界圧

圧力

Faethの実験を数値シミュレーションできれば、どんな気化過程も記述できるコードができる。

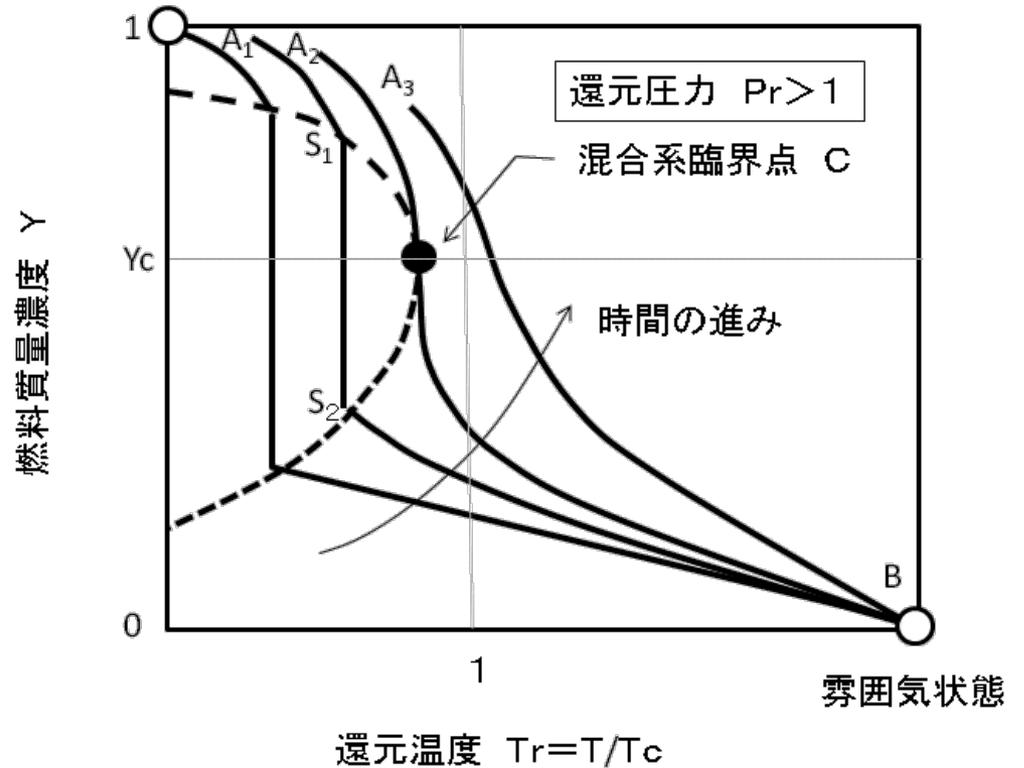
いずれの試みも亜→超臨界蒸発遷移時に計算が破綻し失敗。なぜ？

(a) 物理空間図



初期液滴状態

(b) 状態空間図



Jが有限なら連続的に遷移

$$J = -\rho D \frac{\partial Y}{\partial r}(t, r)$$

$$Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial r}(t, r)$$

$$\frac{J}{Q} = \frac{\overset{0}{\rho D} \frac{\partial Y}{\partial r}}{\lambda \frac{\partial T}{\partial r}}$$

アインシュタインの式
(高橋の拡散係数式)
cf. 希薄気体力学式

臨界表面で評価

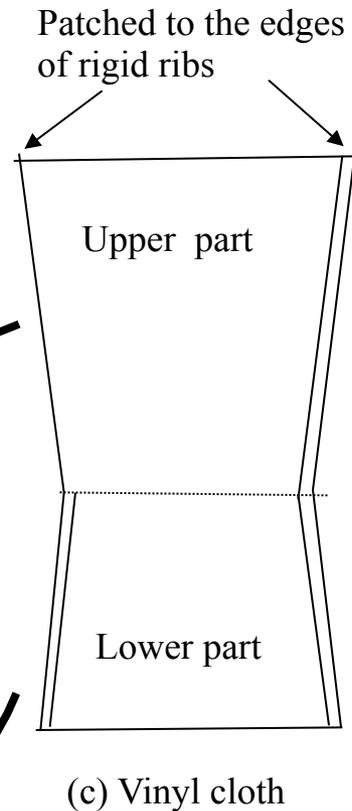
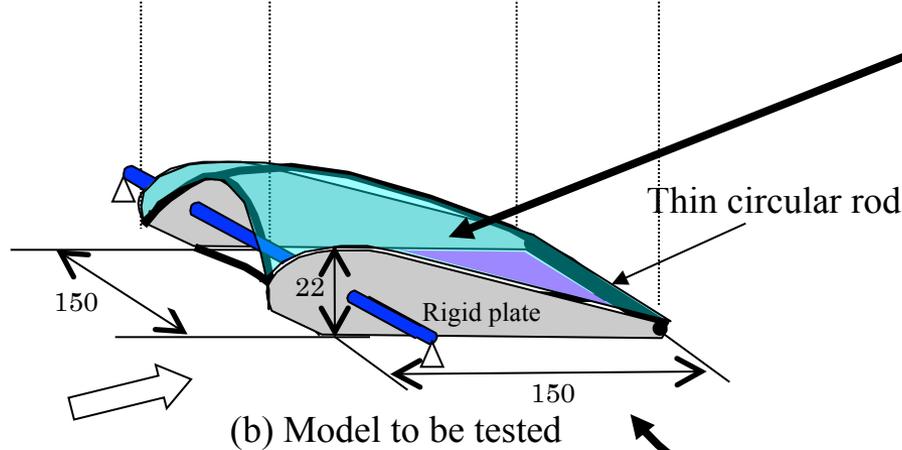
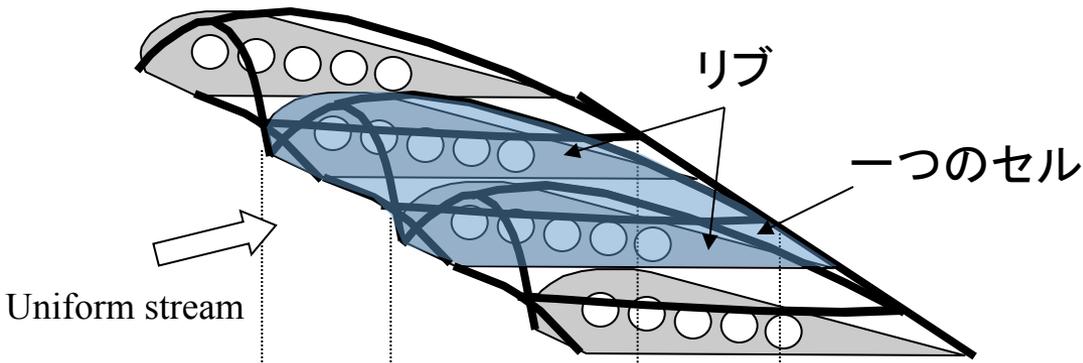
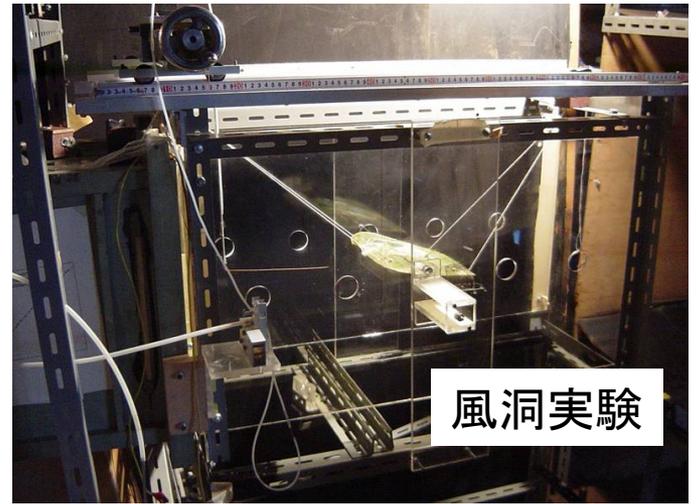
私が考える「技術」は、知ってしまえば、誰でも
タダですぐ真似できるものばかり

パラグライダーの研究

- ①インフレーターブル構造展開シミュレータ・アル
ゴリズム
- ②無穿孔表面圧力測定法

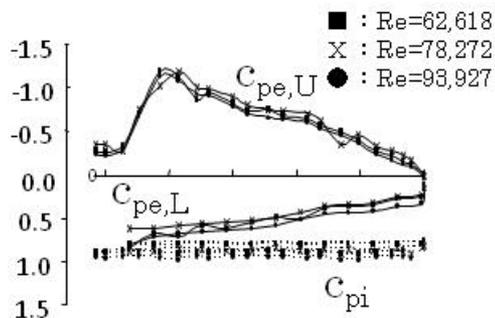
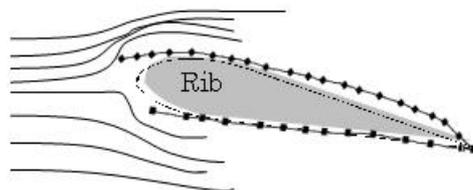
セルモデルの構成

キャンピーは、隣接したリブで仕切られたセルをいくつも横に並べて作られている

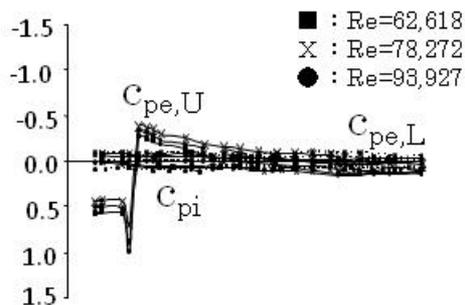
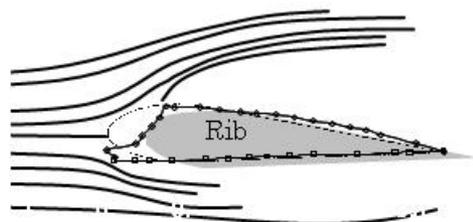


代表的なセルのモデルを作って、セルの変形と空力特性を風洞実験で調べた

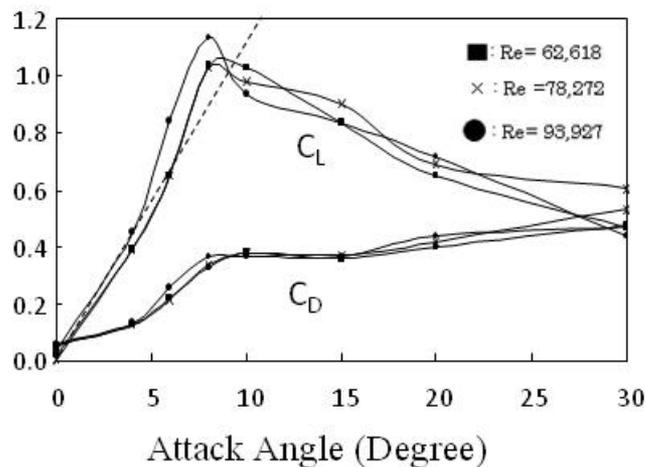
セルモデルの形状、流線、圧力分布



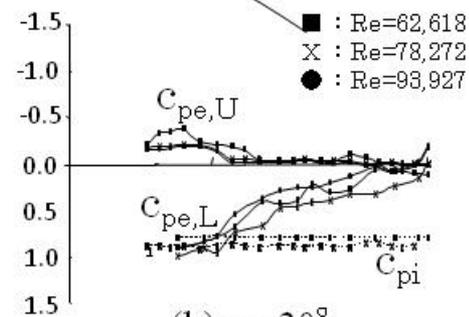
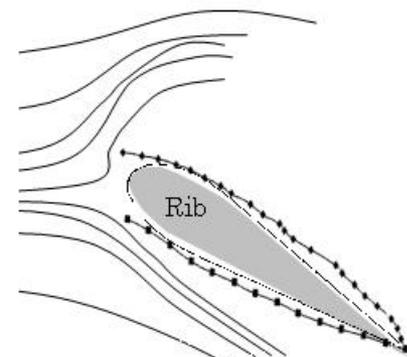
(d) $a = 8^\circ$



(a) $a = 0^\circ$



翼特性



(h) $a = 30^\circ$

表面圧力測定法

通常の方法



左の写真には、翼表面に開けた穴と、それぞれの穴につながった細いビニールチューブの束が写っている

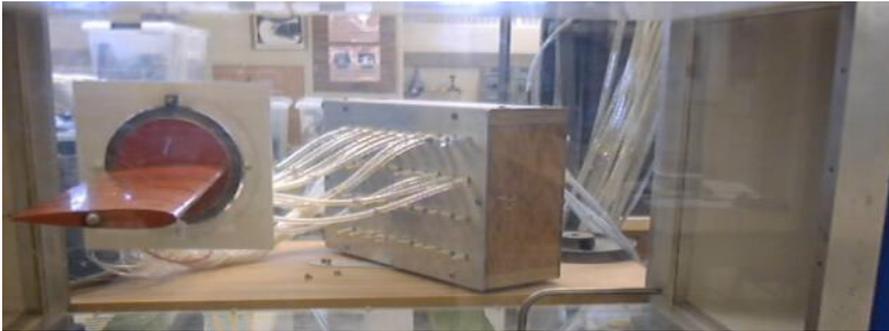
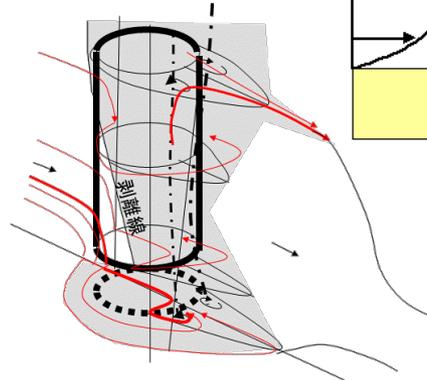
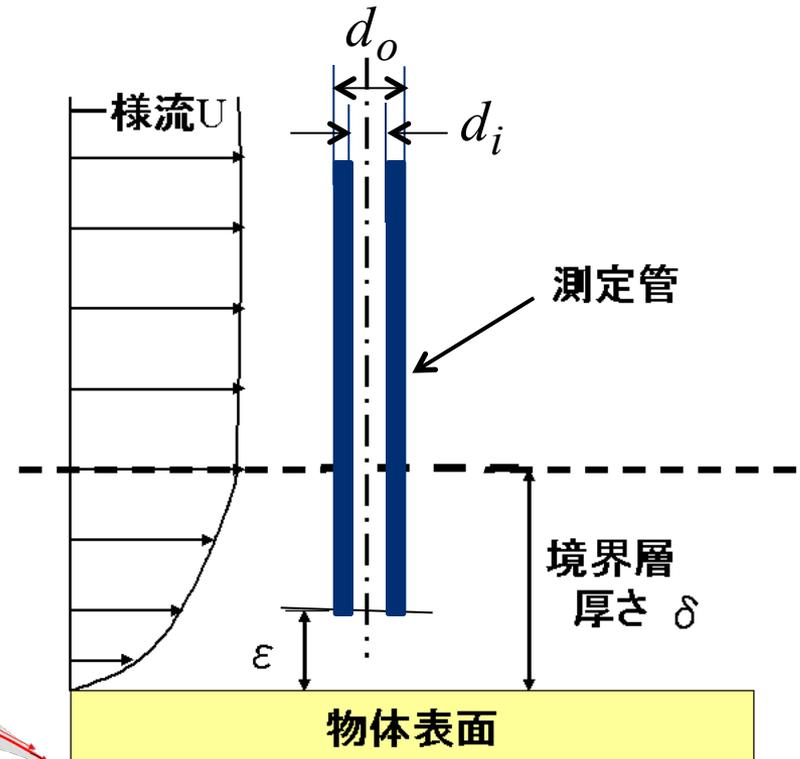


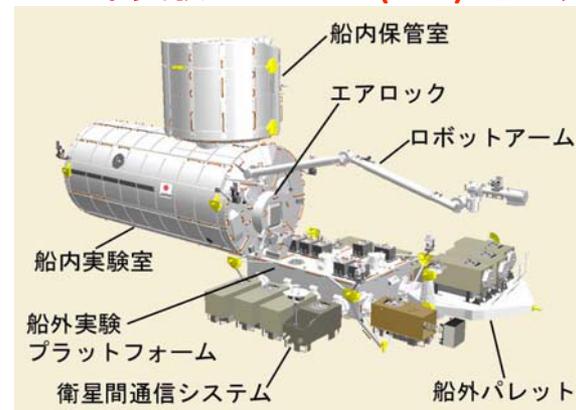
図1 風洞実験での翼模型表面の圧力測定例

無穿孔表面圧力測定法



宇宙実験へ

国際宇宙ステーション 日本実験モジュール(JEM)「きぼう」



1999年組立開始

● 宇宙開発事業団から誘いを受け、国際宇宙ステーションを利用した噴霧燃焼関係のプロジェクト作りに関与することになった。
これに当っては、お世話になった熊谷先生の偉業を大切にしたい気持もあった。

2008~2010「きぼう」組立

2011年完成

2016年まで運用予定

2020年まで延長

落下塔

- 科学的研究に落下塔が使用された最初の記録事例: 1568年Simon Stevinがデルフトの教会鐘塔より質量の異なる2つの鉛球を落としアリストテレスの理論(重い物程速く落ちる)に反証。通説の主であるガリレオは、この時まだ4歳、ピサの斜塔実験はあったかどうか分からない話
- 1781年William Wattsが融解鉛を落とし球体を作る方法を考案
- **1957年(スプートニク打上年)熊谷清一郎(東大・航空)球対称液滴燃焼観察**
- **この実験により微小重力実験の意義が皆に認識されるようになった**
- 1959年NASARobert Siegel米国に最初の落下塔建設
- その後他国でも

Glenn Research Center



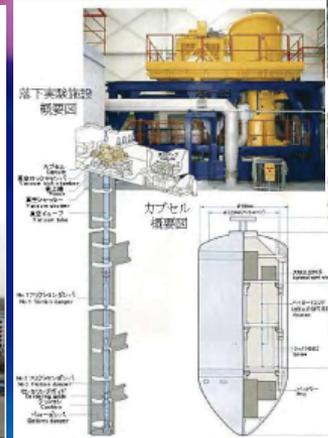
QUT(豪) 2s



INTA(西) 2.1s



NMLC(中)
3.5s



MGLAB(日) 4.75-9.3s
1995/2~2010/6



ZARM(独) 4.75-9.3s

微小重力環境を利用した燃焼研究

宇宙環境利用研究システム
燃料分散系の燃焼ダイナミクス解明研究

(財)日本宇宙フォーラム [公募研究]

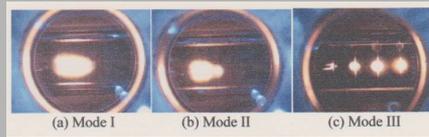
乱流微粒化機構解明

宇宙火災防止

H11
H12
H13
H14
H15
H16
H17
H18
H19
H20
H21
H22
H23
H24
H25
H26

調査研究
準備研究
重点研究

●液滴間火炎伝播モードマップ



●噴霧燃焼パーコレーション理論



次期宇宙
利用研究

「きぼう」
2期利用(前半)
公募採択

●TEXUS
ロケット実験

基礎研究
重点研究

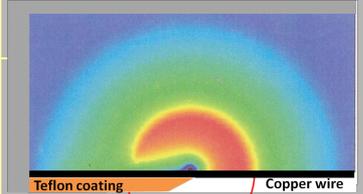
次期宇宙
利用研究

「微小重力場を利用した超臨界噴霧燃焼物理素過程の研究」

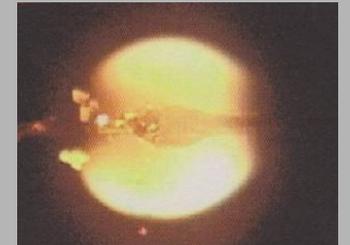
「微小重力環境を利用した近臨界混合表面液ジェット
の乱流微粒化機構の研究」

「微小重力環境を利用した乱流微粒化機構の研究～
液系の不安定化と分断に果たす表面張力波の役割の同定～」

「きぼう」2期利用(後半)公募採択
「微小重力実験から生まれた新しい微粒化概念の詳細検証～乱流微粒化シミュレータの構築を目指し」

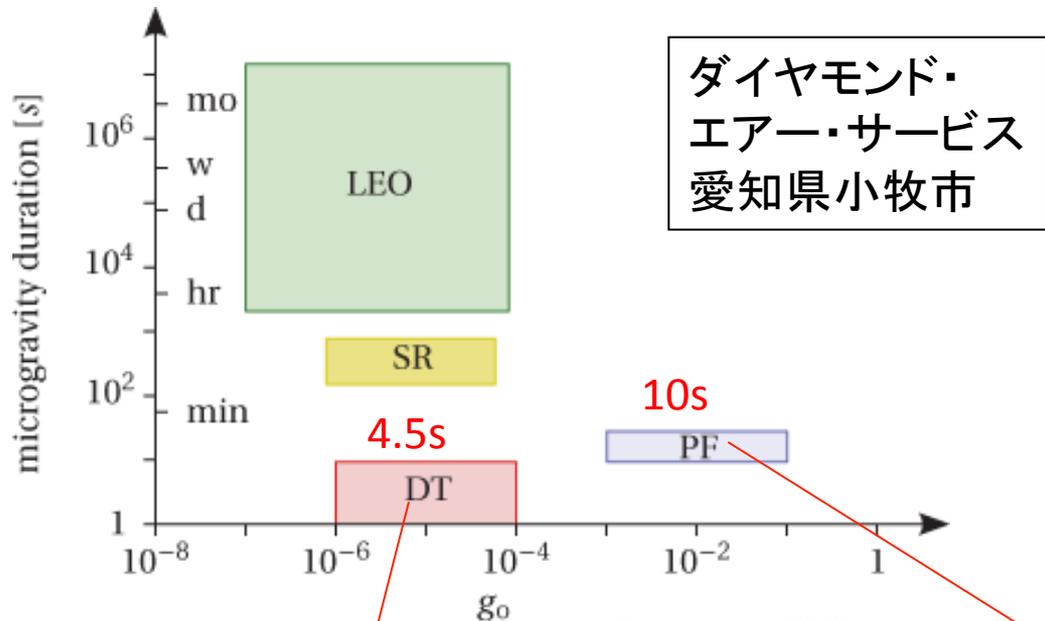


第1回微小重力科学
国際公募採択
藤田修(北大)



「きぼう」3期利用
公募採択

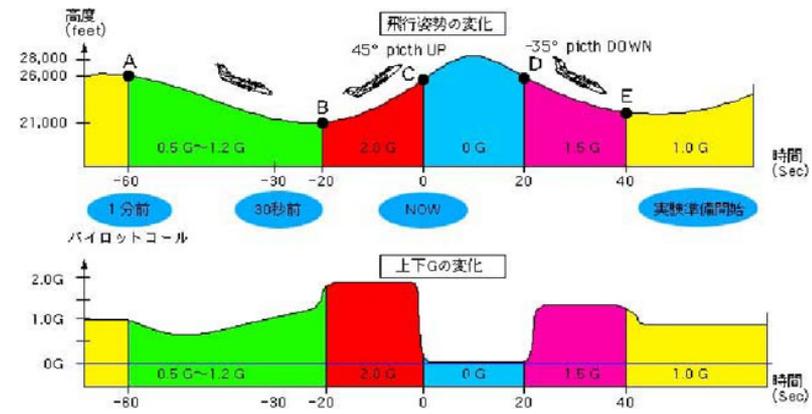
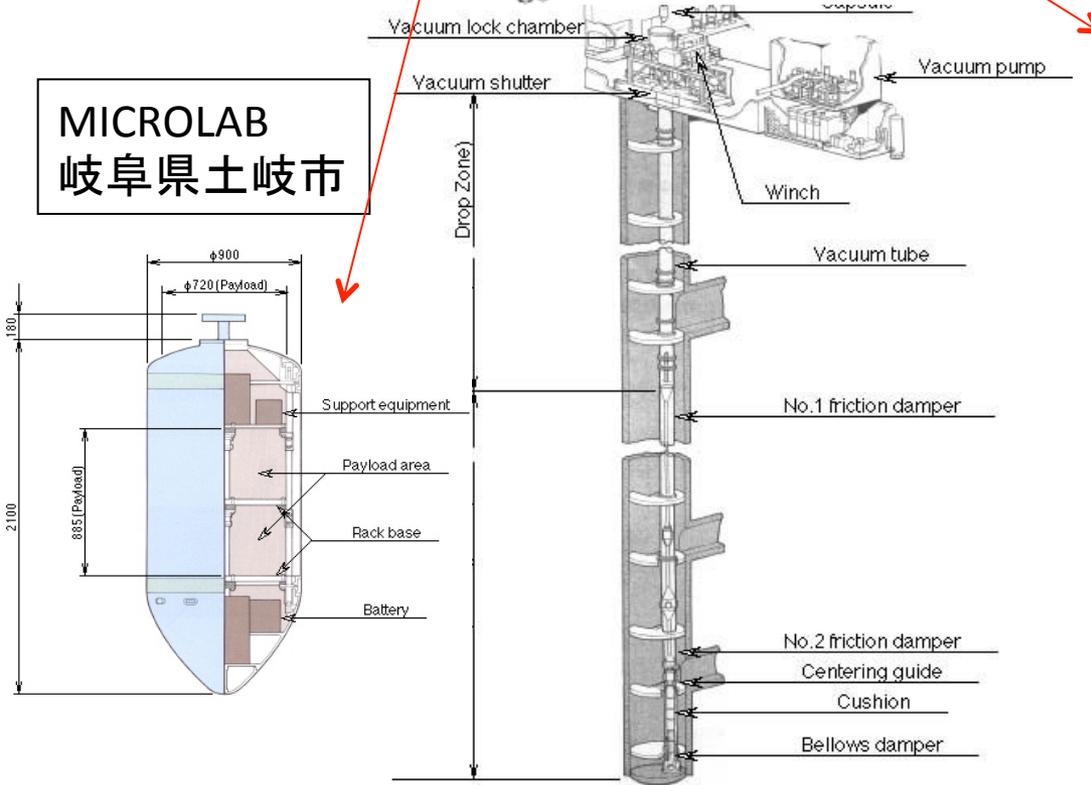
ISS実験



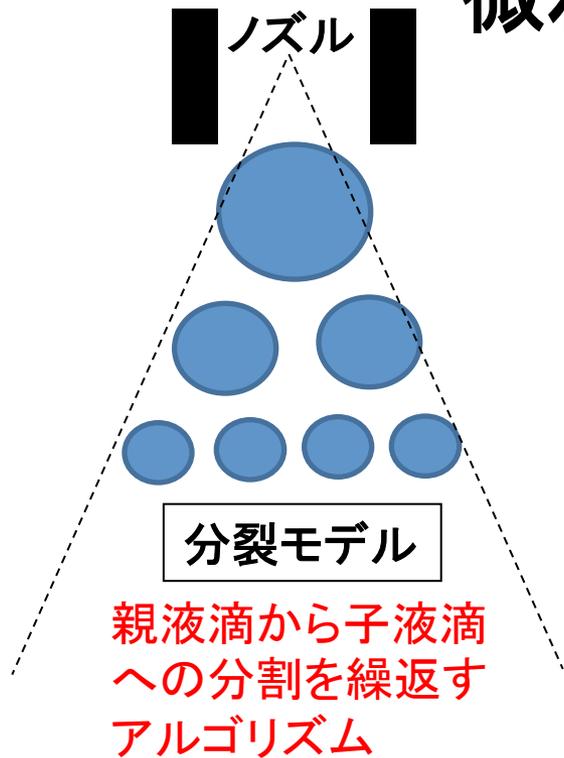
ダイヤモンド・
エアー・サービス
愛知県小牧市



MICROLAB
岐阜県土岐市



現行の噴霧燃焼シミュレーター(KIVA)での 微粒化過程の記述方法



申し訳ないけど、とても受け入れられない

乱流と同様、長い歴史があるにもかかわらず微粒化機構が解明されていない

自分なりに考えてみよう

一気に迫れないので、戦略を立てた

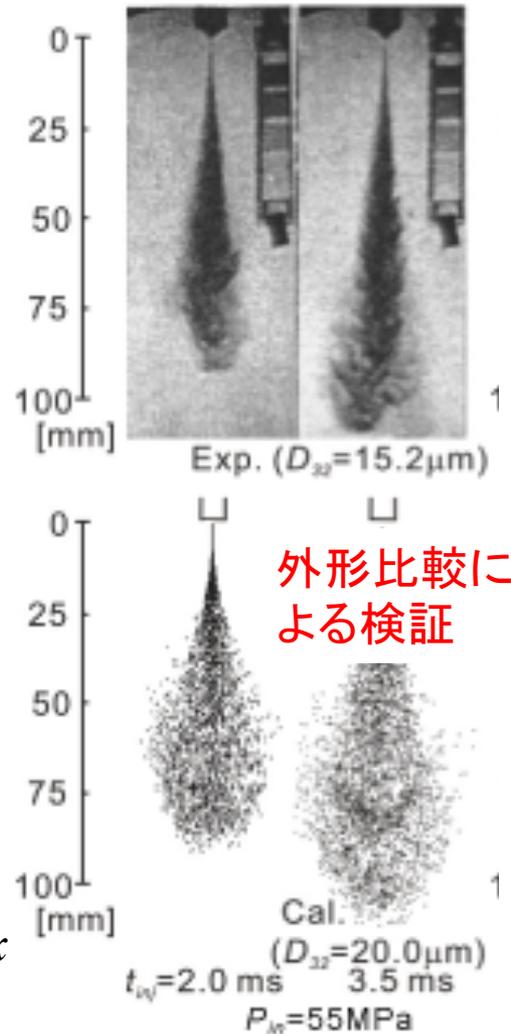


Fig. 6 Spray shape of each injection pressure

研究戦略

①液系の分断機構の解明

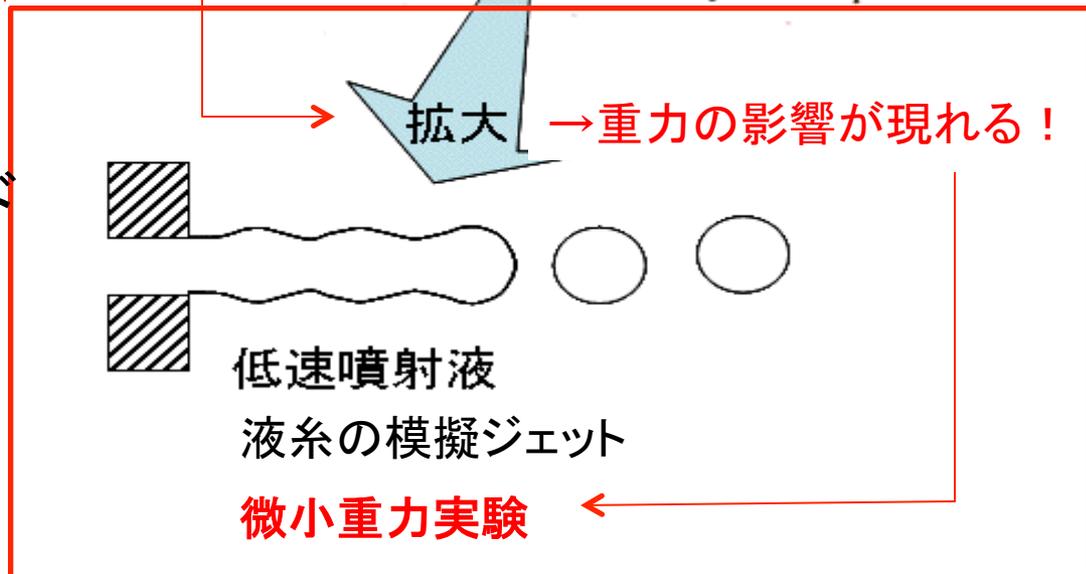
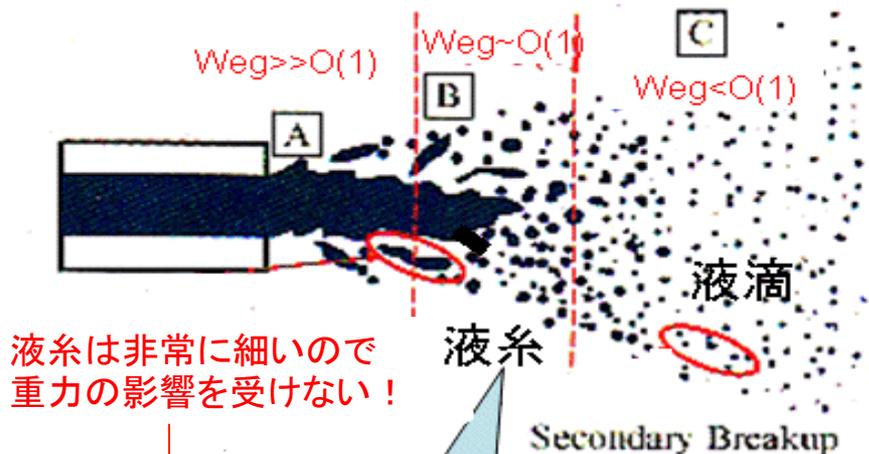
②液系の生成機構の解明

③乱流微粒化機構の解明



④LES用微粒化サブグリッドモデルの構築

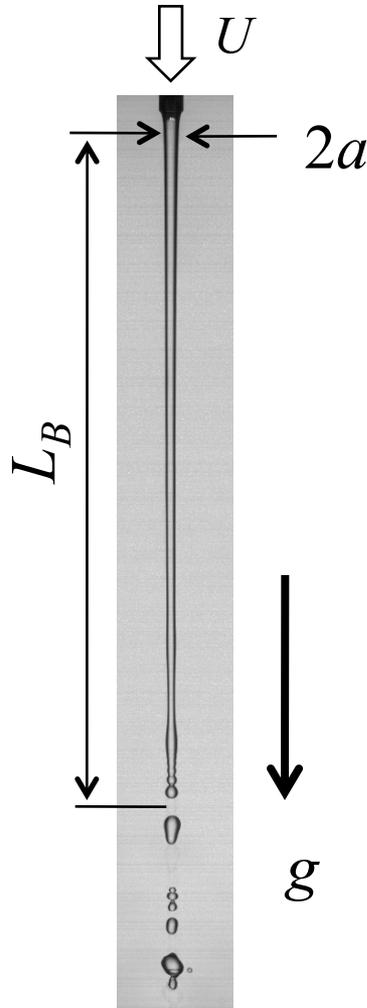
乱流微粒化過程



- 結果的に、この戦略は大当たり。①から②③④に迫る糸口がつかめた。
- ①からわかった重要な事柄(宇宙実験に関係する)を述べる。

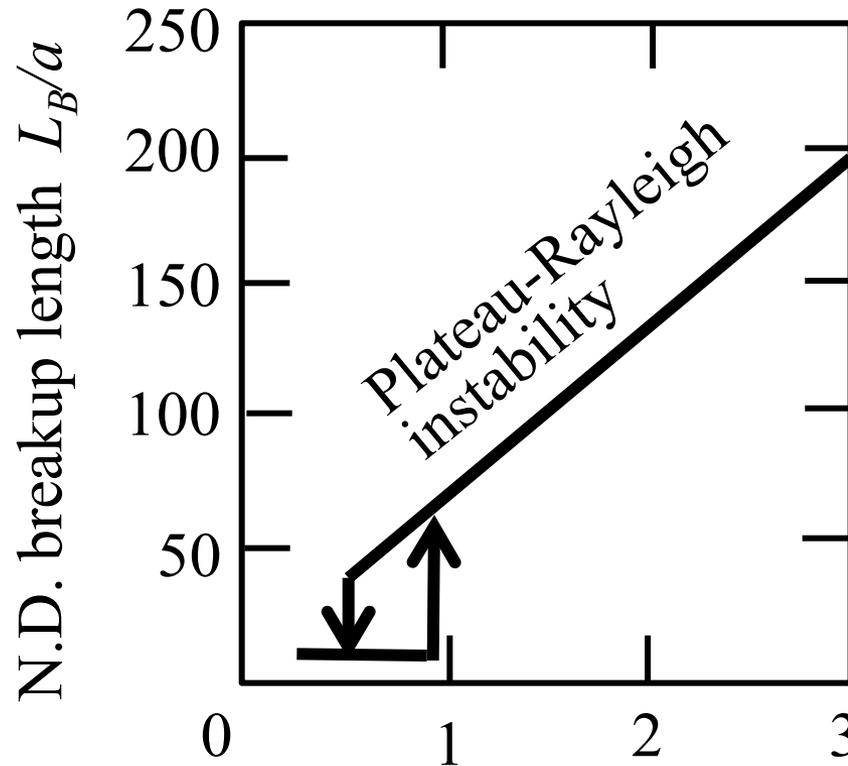
従来の考え：液糸の分断はレーリーの理論に従う

実験室実験



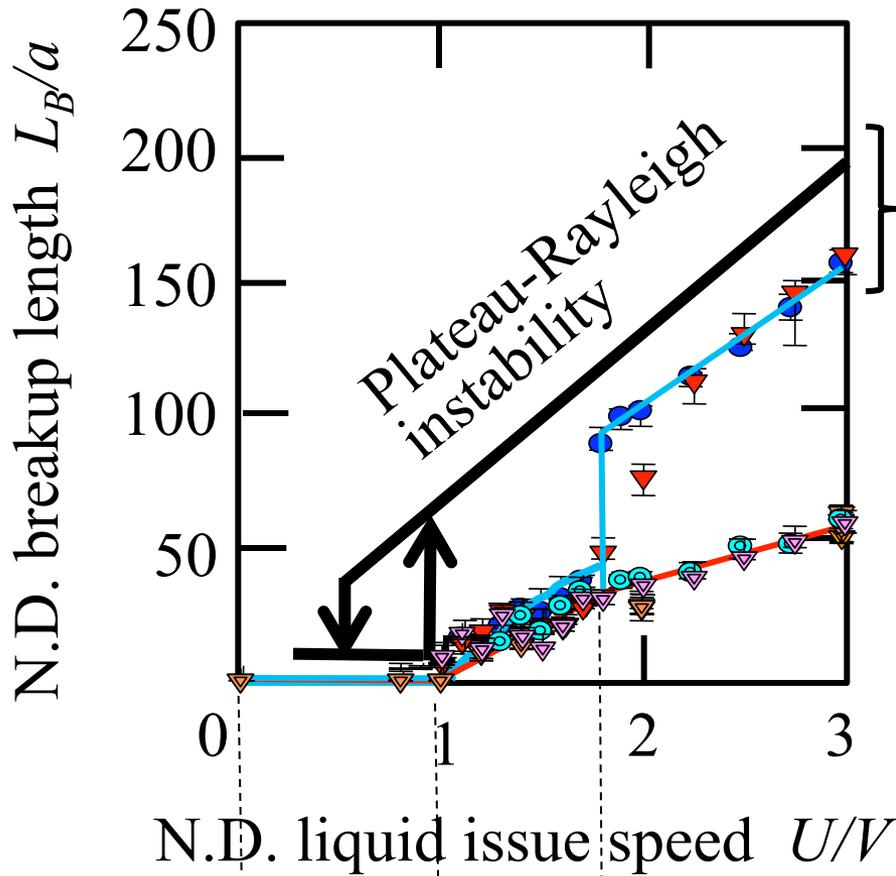
レーリーの理論

$$L_B/a = 2.9\sqrt{We}\ln(a/\epsilon)$$



N.D. liquid issue speed $U/V = \sqrt{We}$

微小重力実験：液系の分断機構が現れるはず



ノズル:
放物速度分布

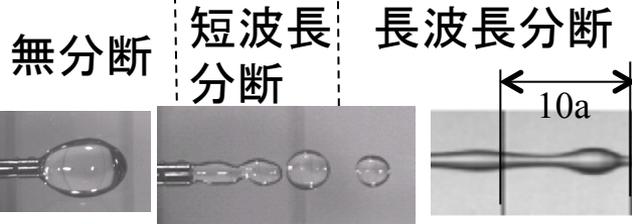
● $a=0.40\text{mm}$
▼ $a=1.00\text{mm}$

オリフィス:
一様速度分布

▼ $a=1.00\text{mm}$
● $a=0.40\text{mm}$

これからわかること:

長波長分断は噴射器の影響を受ける!
→液系(噴射器対応物がない)を模擬しない
液系の分断は短波長分断による!
(従来の考え=長波長分断)



戦略①の半分は達成
過去の微粒化研究に対する疑問沸々

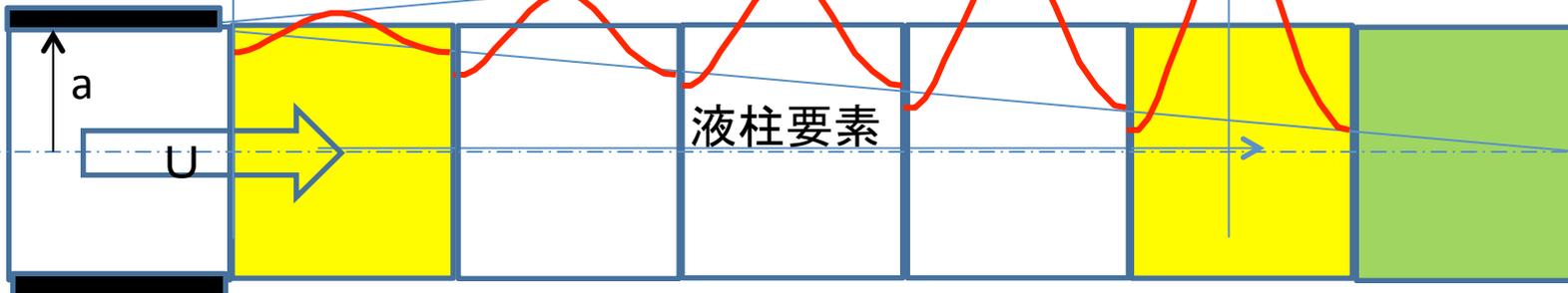
レーリーの理論(1878) および派生諸理論(乱流関連も含む)

噴出する液体には必ず**ランダムな乱れ**が含まれており、その不安定波成分の中から最も大きな増幅率 γ を持つ不安定波(波長 $\lambda=9a$)が発達して分断を引き起こす。

分断距離 $L_B/a = 2.9\sqrt{We \ln(a/\varepsilon)}$

要素に乗って見たときの表面変位変化:
 $\delta = \varepsilon e^{\gamma t} \sin[2\pi(x-Ut)/\lambda]$

初期振幅 ε



素朴な疑問①:
誰が実験しても同じ値を得る
(さもないと物理量でない)
ランダムな乱れで可能?
どうして定常分断が可能?

従来の理論

← 神様しかできないことを語っているのが宗教

分断距離 $L_B/a = 2.9\sqrt{We}\ln(a/\epsilon)$

要素に乗って見たときの表面変位変化:
 $\delta = \epsilon e^{\gamma t} \sin[2\pi(x-Ut)/\lambda]$

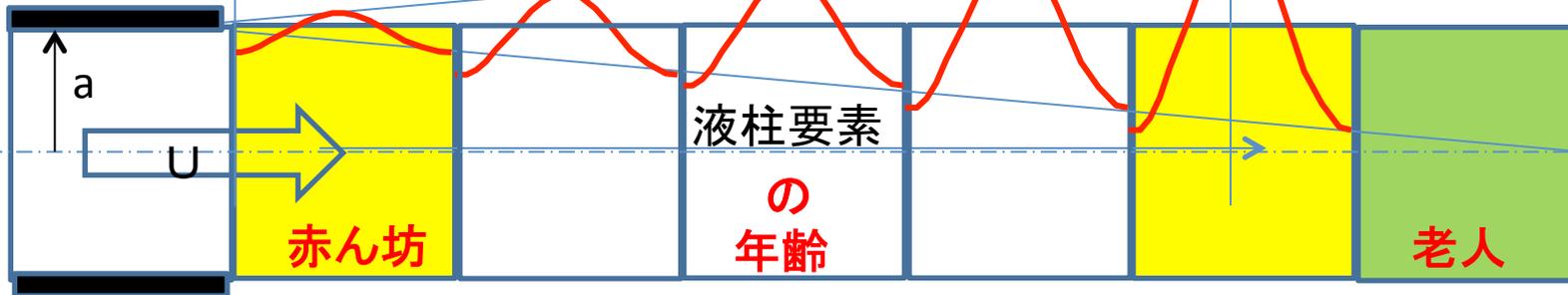
素朴な疑問1:
誰が実験しても同じ値を得る
(さもないと物理両でない)
ランダムな乱れで可能?
どうして定常分断が可能?

素朴な疑問②:
因果律に従っている?

過去

現在

初期振幅 ϵ



未来

新しい微粒化概念
(同定できれば科学
自己不安定化機構)

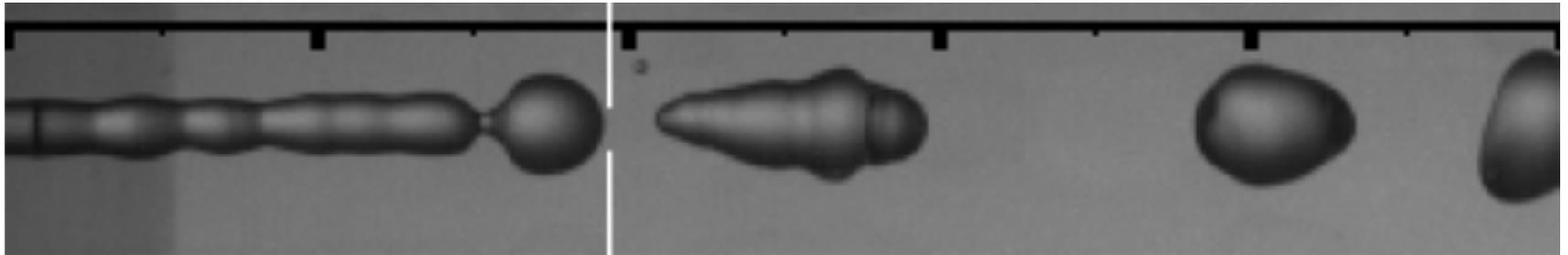
現在

過去

過去の事象が
何の役割も果たしていない!

過去の事象が不安定波を決定論的に作るループを見つければ全ての疑問が解消する

自己不安定化機構を同定するために、微小重力実験で見つかった短波長分断を調べる
その分断機構が分かれば、①に回答を得たことになる



短波長分断モード
オリフィス

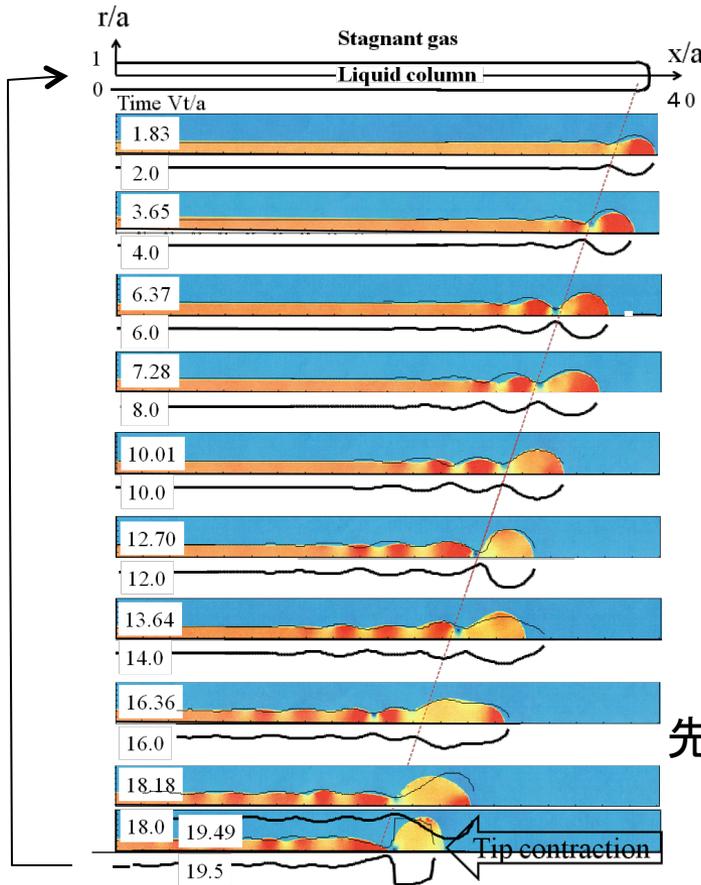
$$\sqrt{We} = 1.5$$

噴射液の先端で収縮が起き、上流に表面張力波が伝わる様子が見える

短波長分断モード

液系の分断機構

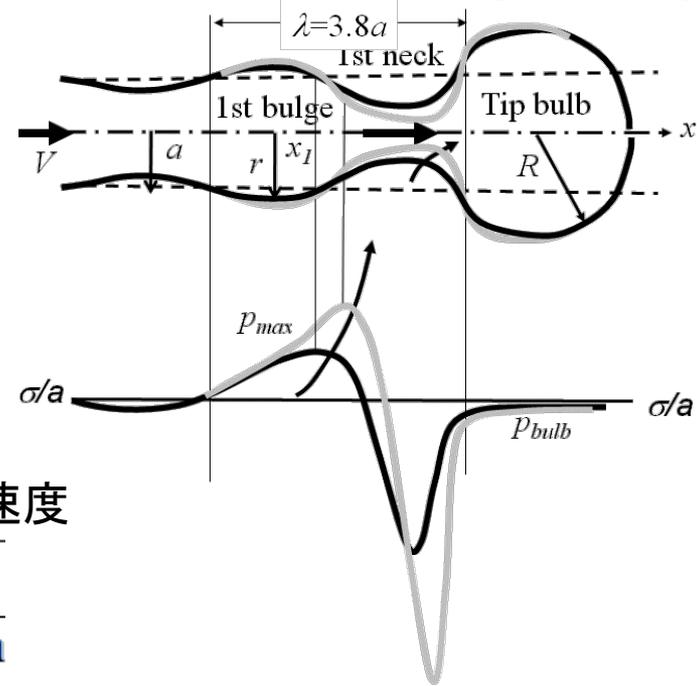
繰り返り



先端収縮速度

$$V = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho a}}$$

Surface deformation viewed from liquid column tip



Axial pressure distribution

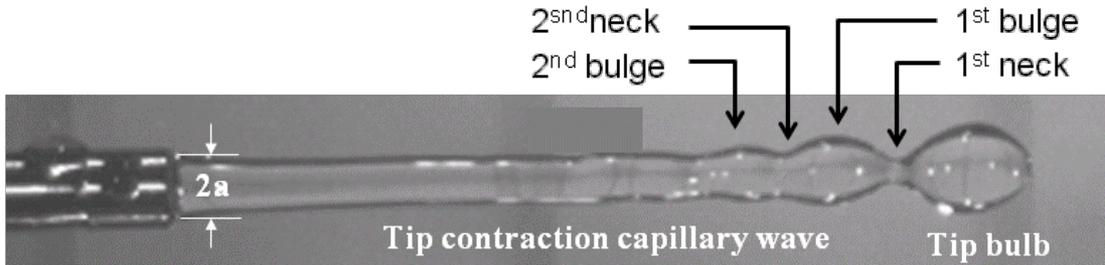
- 端のある液柱(液系)は自然に分断し続ける
(ノズルから液体を噴射すれば自然に分断し続ける)
- 先端収縮によって解放された表面エネルギーの一部が表面張力波となって上流に伝わる。

Capillary wave energy + Dissipated energy

← Lost surface energy

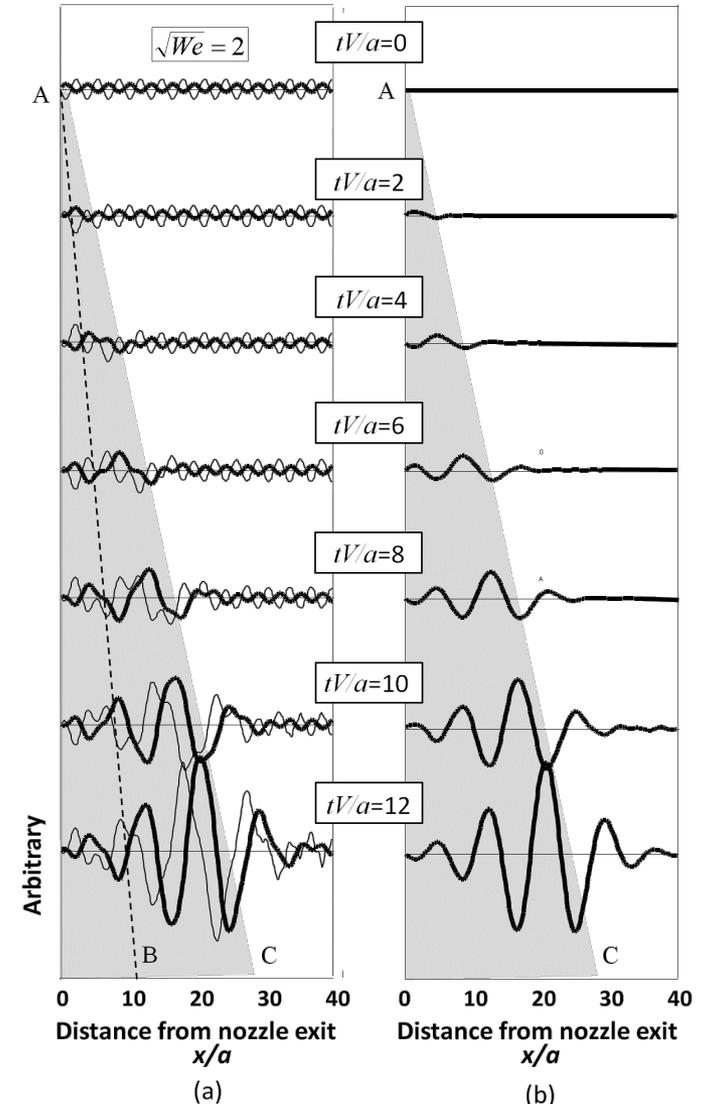
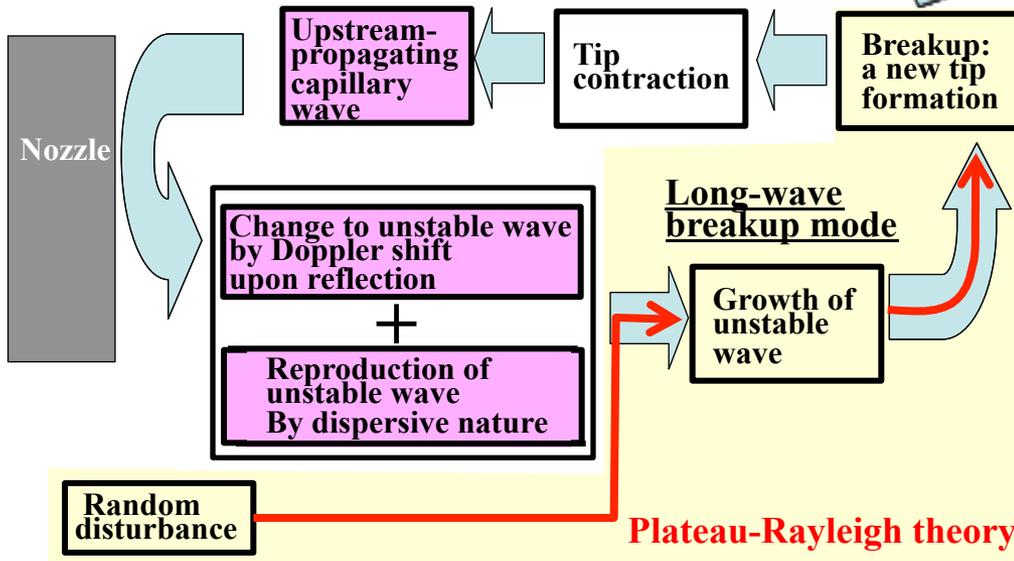
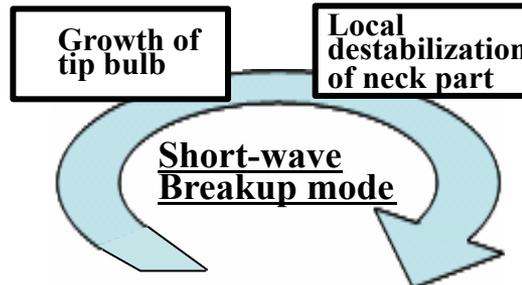
自己不安定化機構

レーリーの不安定波の起源

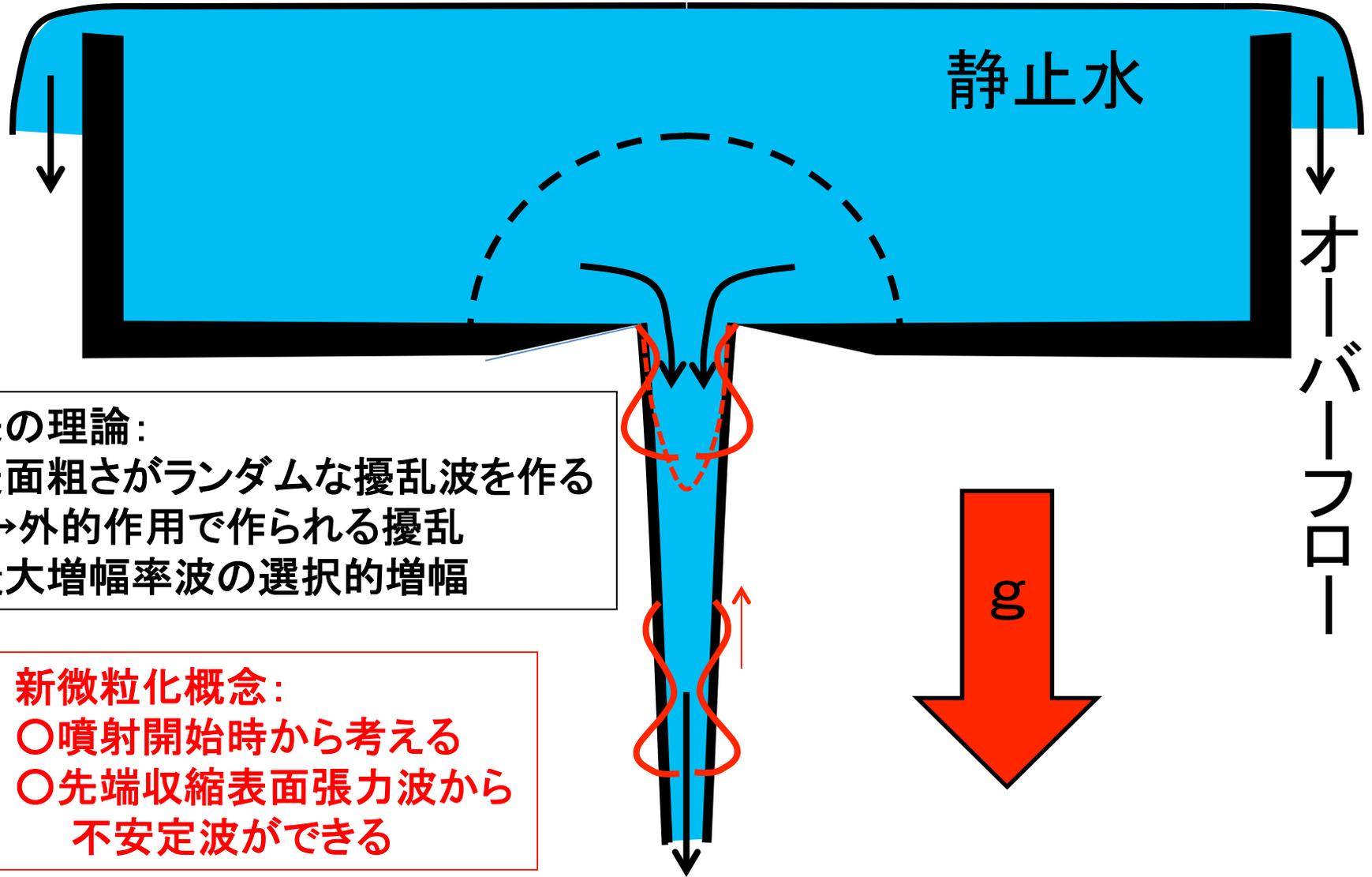


Low-speed water jet in microgravity

速度分布と重力加速は
ノズル出口反射と同じ
効果をもたらす



実験室実験

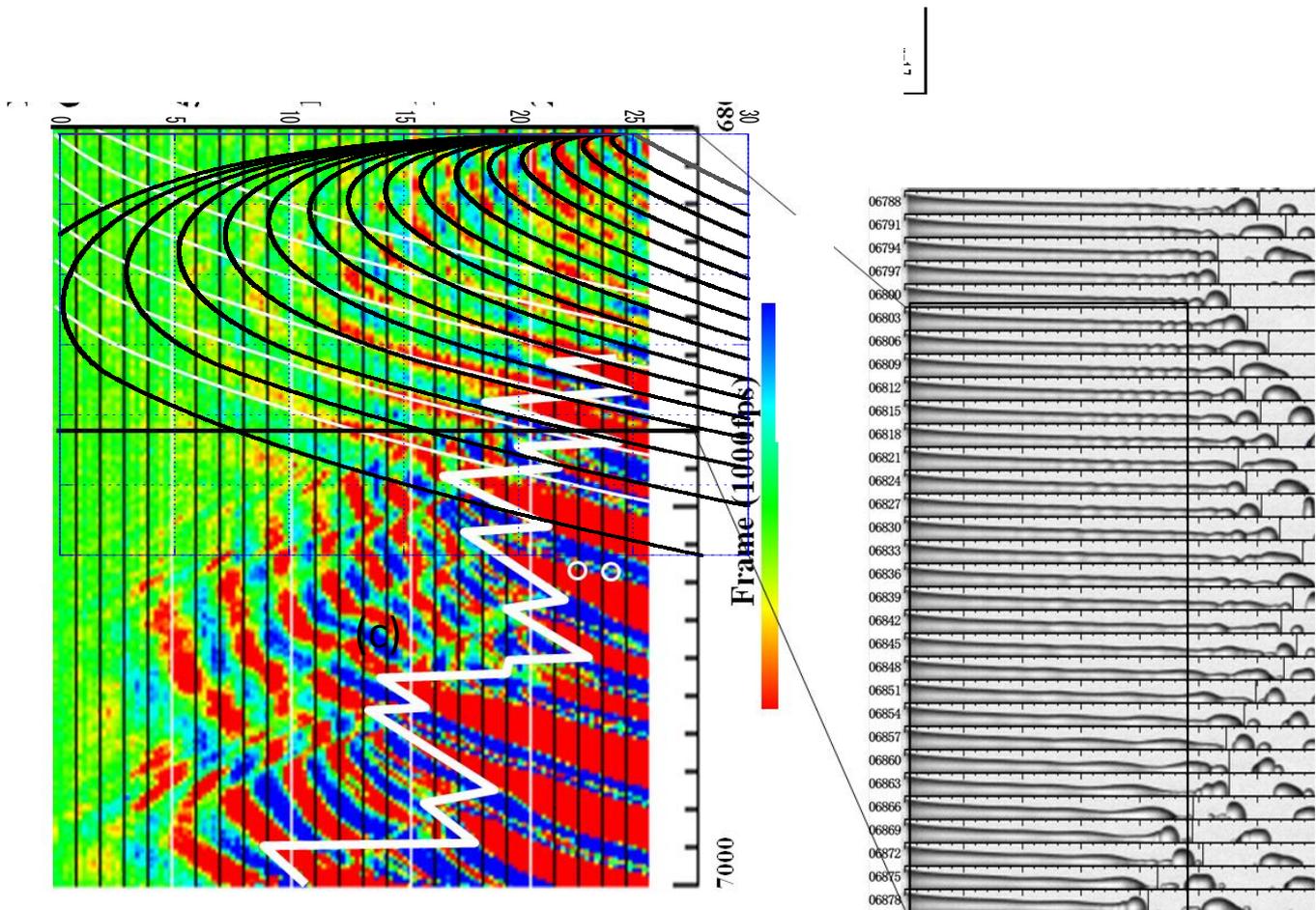
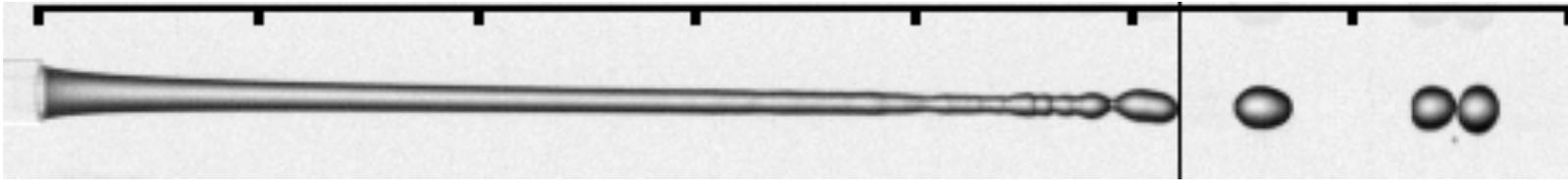


従来の理論:

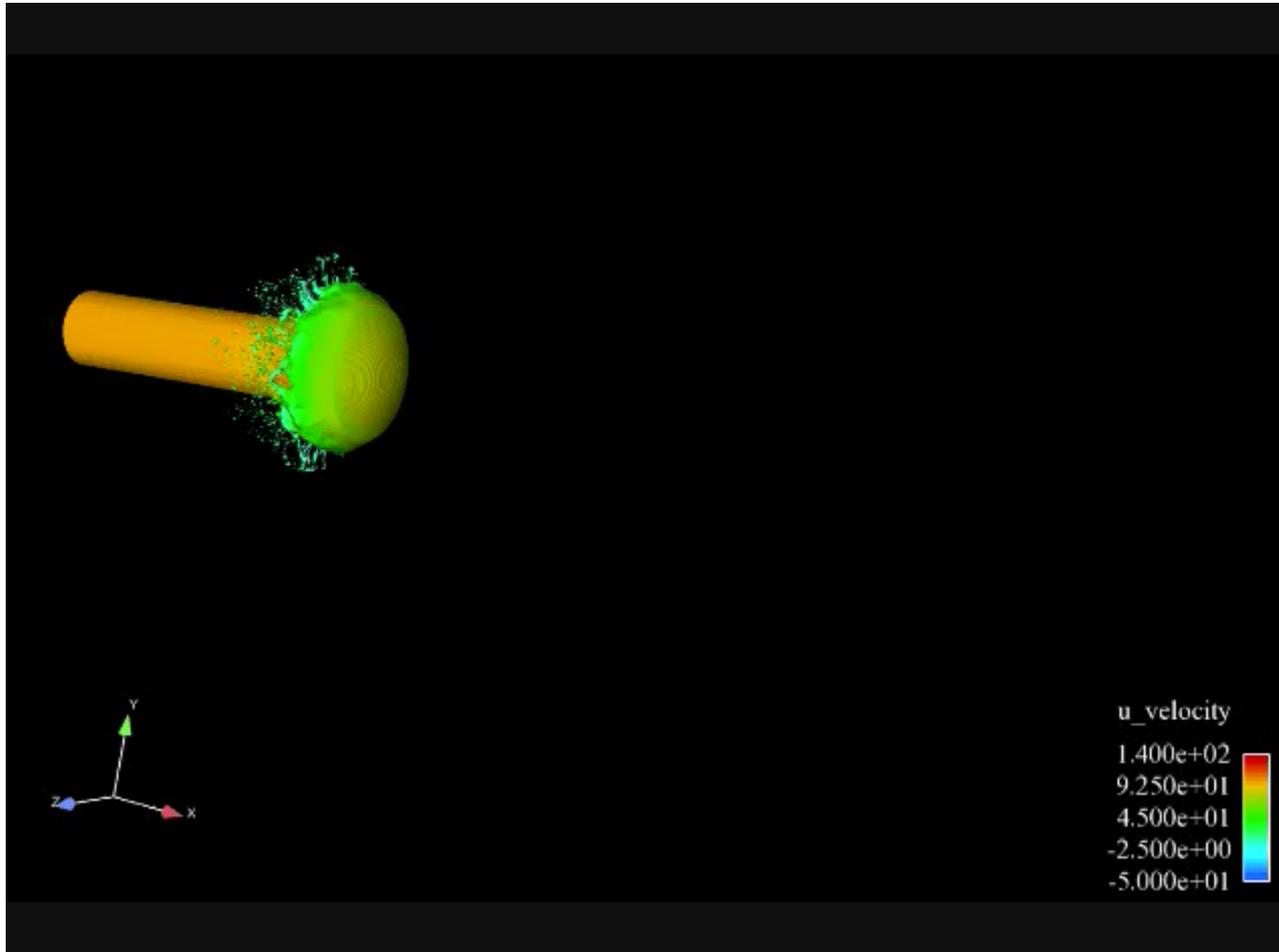
- 表面粗さがランダムな擾乱波を作る
→外的作用で作られる擾乱
- 最大増幅率波の選択的増幅

新微粒化概念:

- 噴射開始時から考える
- 先端収縮表面張力波から不安定波ができる



高速噴射液でも、液体を噴射すれば自然に自己不安定化機構が働いて乱流微粒化状態が実現することを示す直接数値シミュレーション ディーゼル噴射初期



ノズルの影響を
排除した計算→

ジェット先端部の
変形から不安定性
現象が発生

新城(JAXA)

研究戦略

①液系(低速ジェット)の分断機構の解明

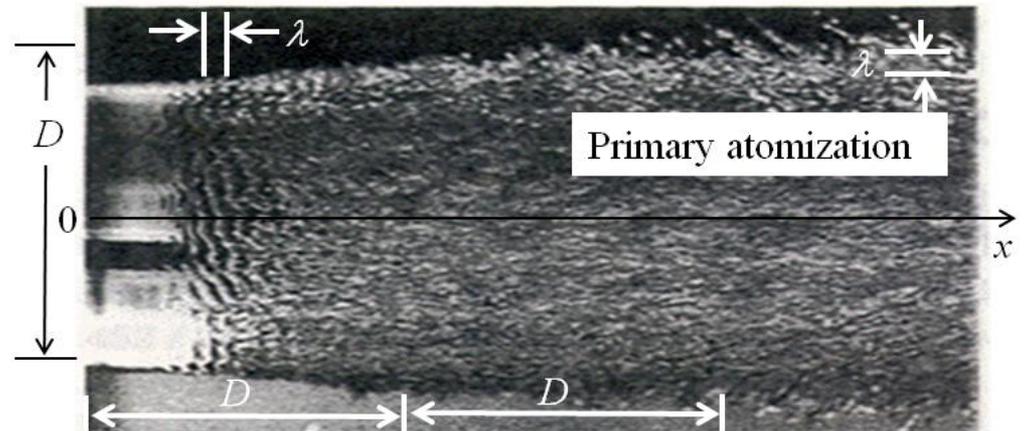
②液系の生成機構の解明

③乱流微粒化機構の解明



④LES用微粒化サブグリッドモデルの構築

短いノズルから高速噴射された水



(a) Near nozzle exit



(b) Far downstream of nozzle exit
($216D < x < 240D$)

120年間、考え違いしてきた

- 新しい微粒化概念により、様々な微粒化現象が統一的に説明でき、定量的に予測できるようになった。
- ポイント: 中立波を考慮にいれないとエネルギー方程式が閉じない→自己不安定化機構の存在
- 神様が指図しているのではない!
- 微粒化に限らず全ての移流不安定性に当てはまる → 乱流問題の再考が必要

最後の最後になって初心に戻ることができた。

宇宙実験成果の公表時に合わせ、全ての目標を達成したいと考えている。

謝辞

研究室スタッフ:小紫公也・菱田学・長野方星

二日市宅・飯田光人・高森昭一・大坂淳
丹羽文夫

- 研究室のスタッフには助けていただきました。
- 学生の研究を大いにエンジョイしました。予想に反する結果に想像力が刺激されました。
- 卒研・修論は製本して保存してあります。初心の秘められたものも多いと思います。何時でも見に来てください。

