

計画研究 A01 班 クオーク階層とハドロン階層を結ぶ動的機構



A01 班研究代表者 志垣 賢太 ( 広島大学)

新学術領域研究 “量子クラスターで読み解く物質の階層構造”
キックオフシンポジウム

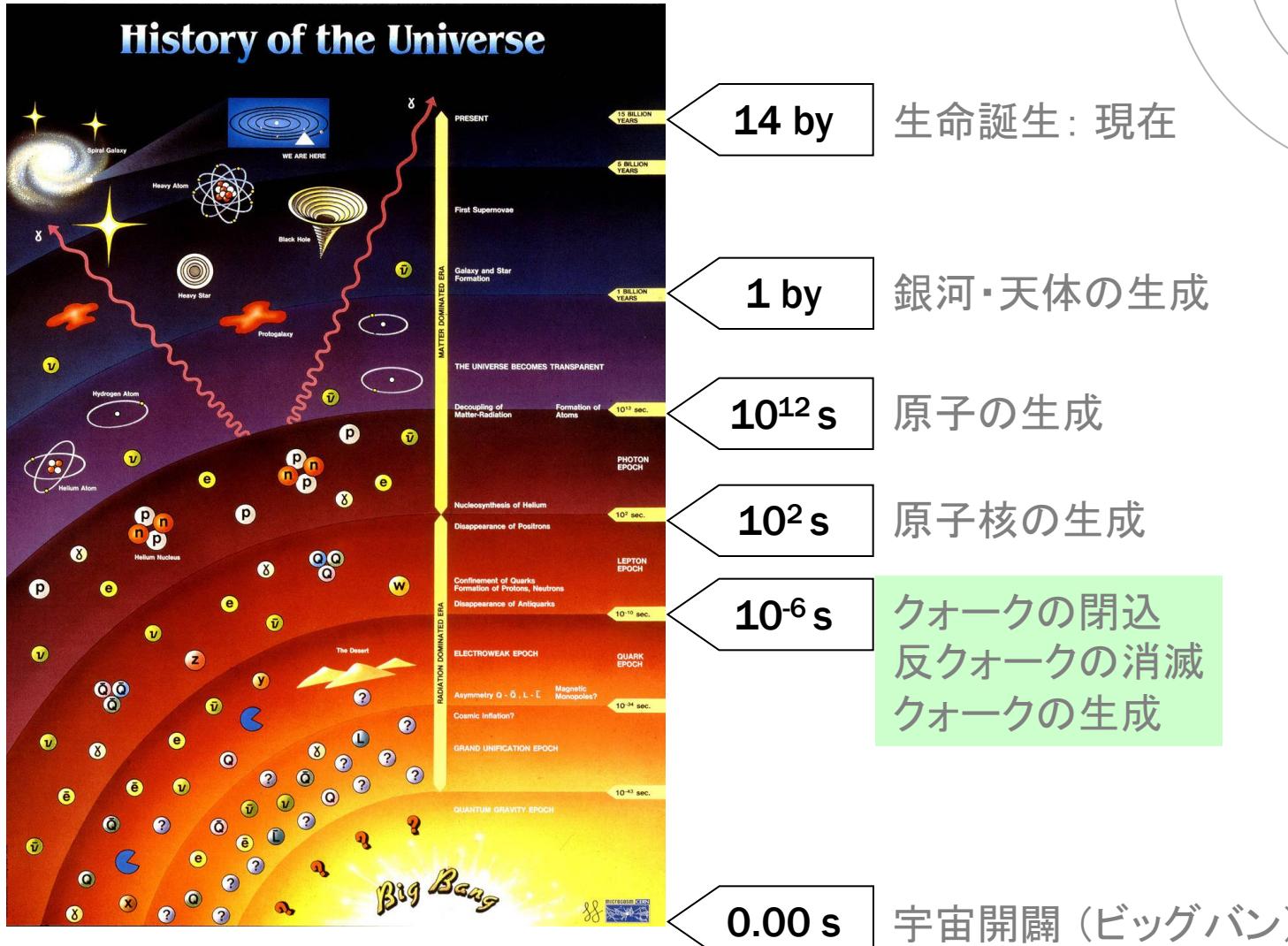
2018 年 11 月 19 - 20 日 東京工業大学

講演概要



- クオーク階層とハドロン階層を跨ぐ物理
- 高エネルギー原子核衝突によるクオーク階層到達
- 両階層を結ぶ特有の動的機構：クオーク再結合
→ 浜垣秀樹氏の講演（明日 11/20）
- 両階層境界での重要課題：カイラル対称性回復
- LHC 加速器 ALICE 実験高度化
- 計画研究 A01 班
- まとめ, おわりに

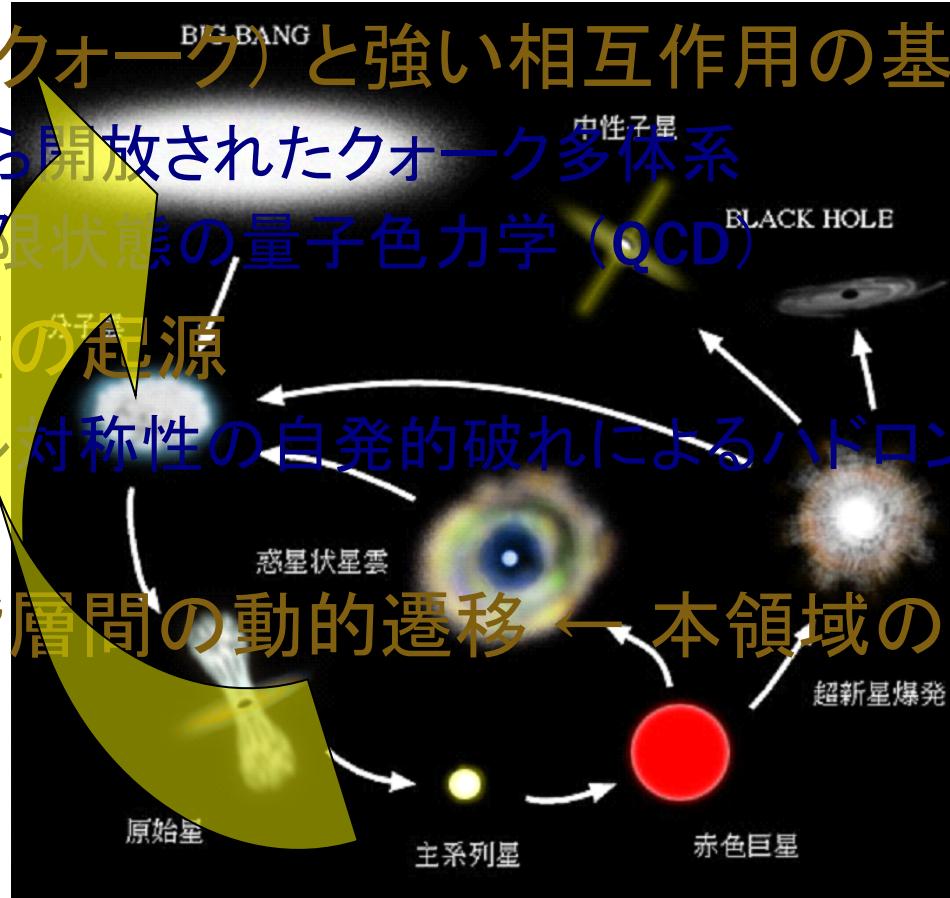
宇宙の歴史におけるクオーク閉込



クオーク／ハドロン階層を跨ぐ物理



- 極初期宇宙の物質状態と発展過程
 - ビッグバンから 10^{-5} 秒後の相転移
- 素粒子（クオーク）と強い相互作用の基本的性質
 - 閉込から開放されたクオーク多体系
 - 高温極限状態の量子色力学（QCD）
- 物質質量の起源
 - カイラル対称性の自発的破れによるハドロン質量
- 最基本階層間の動的遷移 ← 本領域の観点



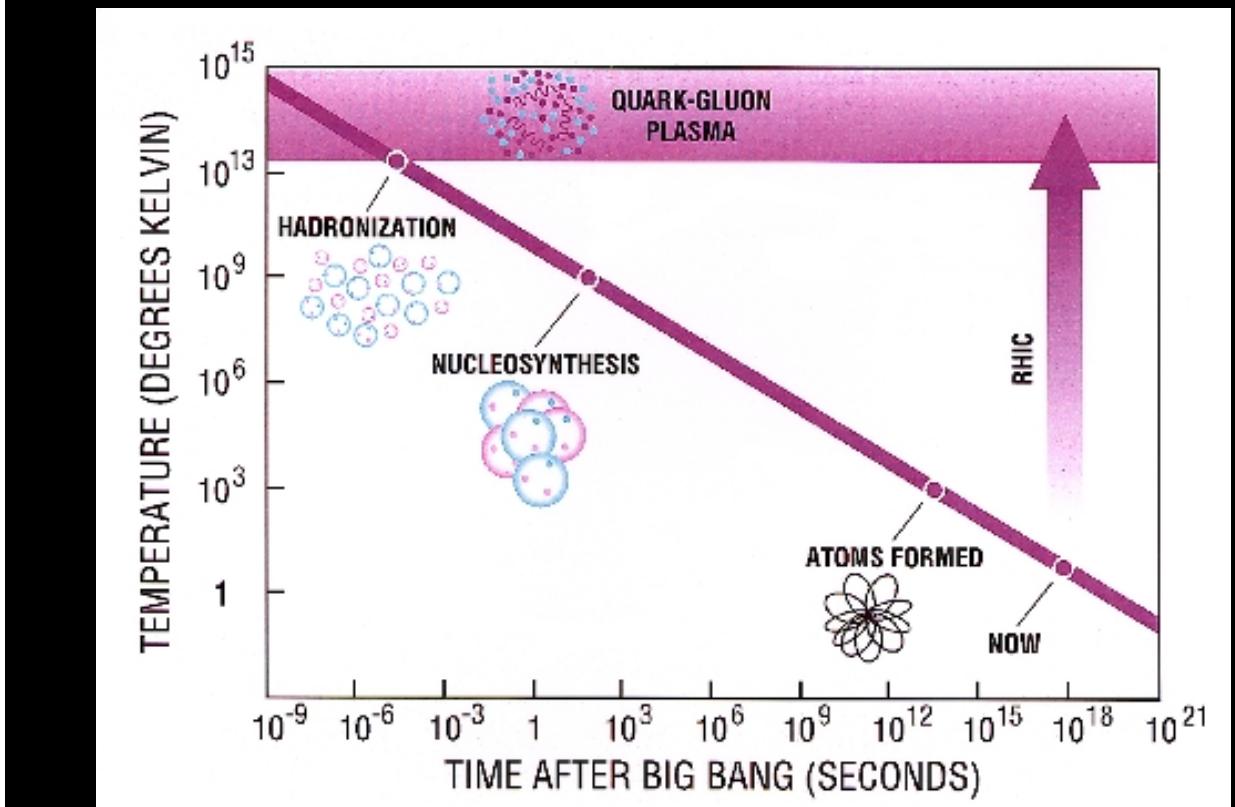
クオーク階層とハドロン階層を結ぶ動的機構 - 志垣賢太

極初期宇宙状態の実験的再現



■ 高エネルギー原子核衝突実験

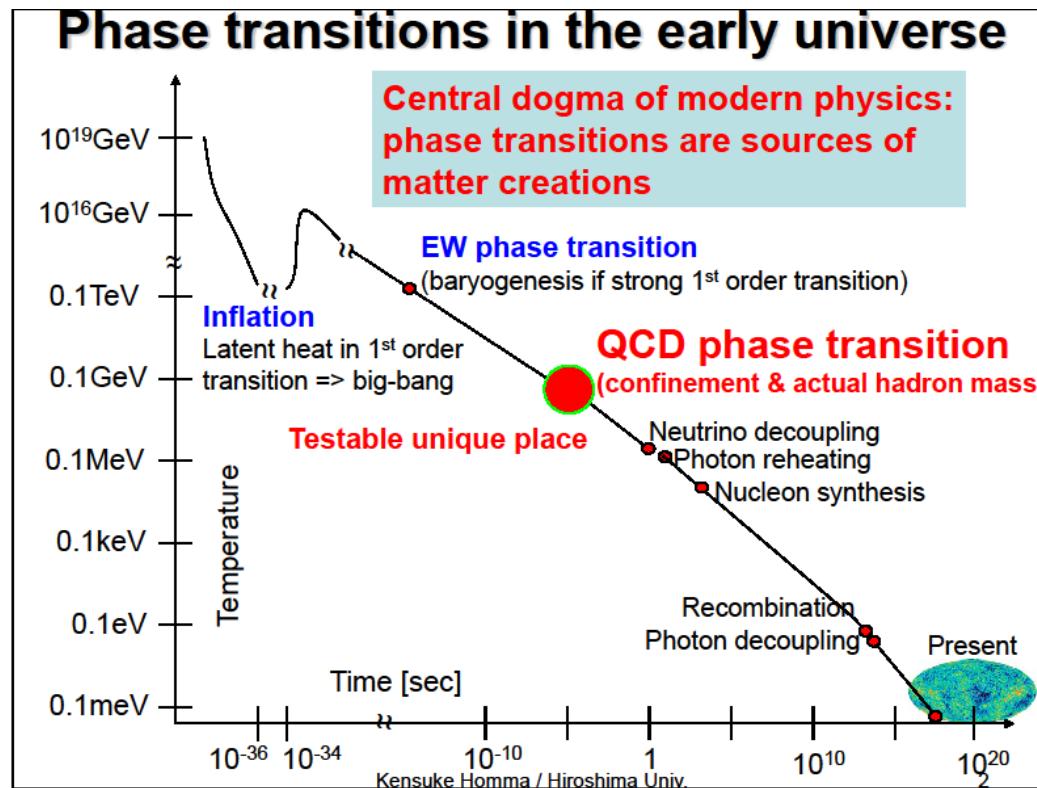
- “リトルバン” 実験：ビッグバンの（小規模な）再現
 - クオーク・グルーオン・プラズマ（QGP）相



量子色力学相転移探究の特筆意義



- 実験的に遡り得る唯一の初期宇宙相転移
 - 宇宙発展を理解するパラダイムの実証（または反証）
↔ 相転移の残渣検出



本間謙輔 2008/09

2018/11/19

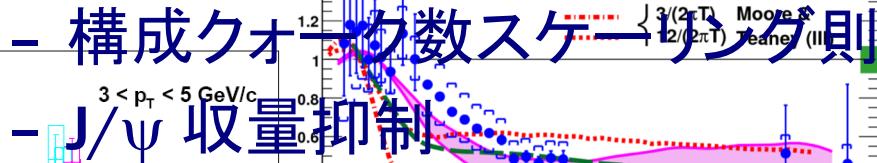
クオーク階層とハドロン階層を結ぶ動的機構 - 志垣賢太

5/19

解放クオーク相の発見 (RHIC 加速器)



- パートン由来：クオーク自由度顕在化, 色価遮蔽



- 稠密：クオークのエネルギー損失



- 強結合：完全流体

The matter may melt
and/or regenerate J/ψ 's



- 流体力学で記述される集団運動

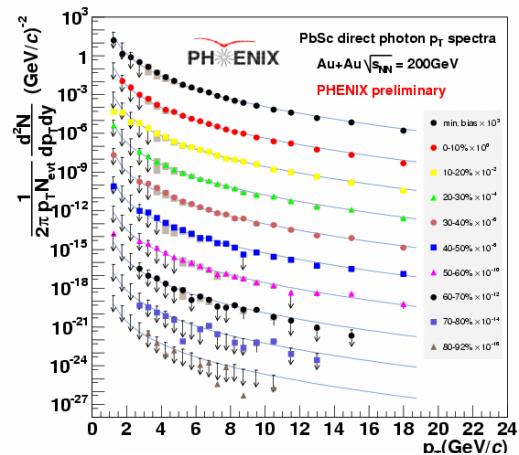
高エネルギー密度

高温熱輻射



- 热輻射（仮想）光子

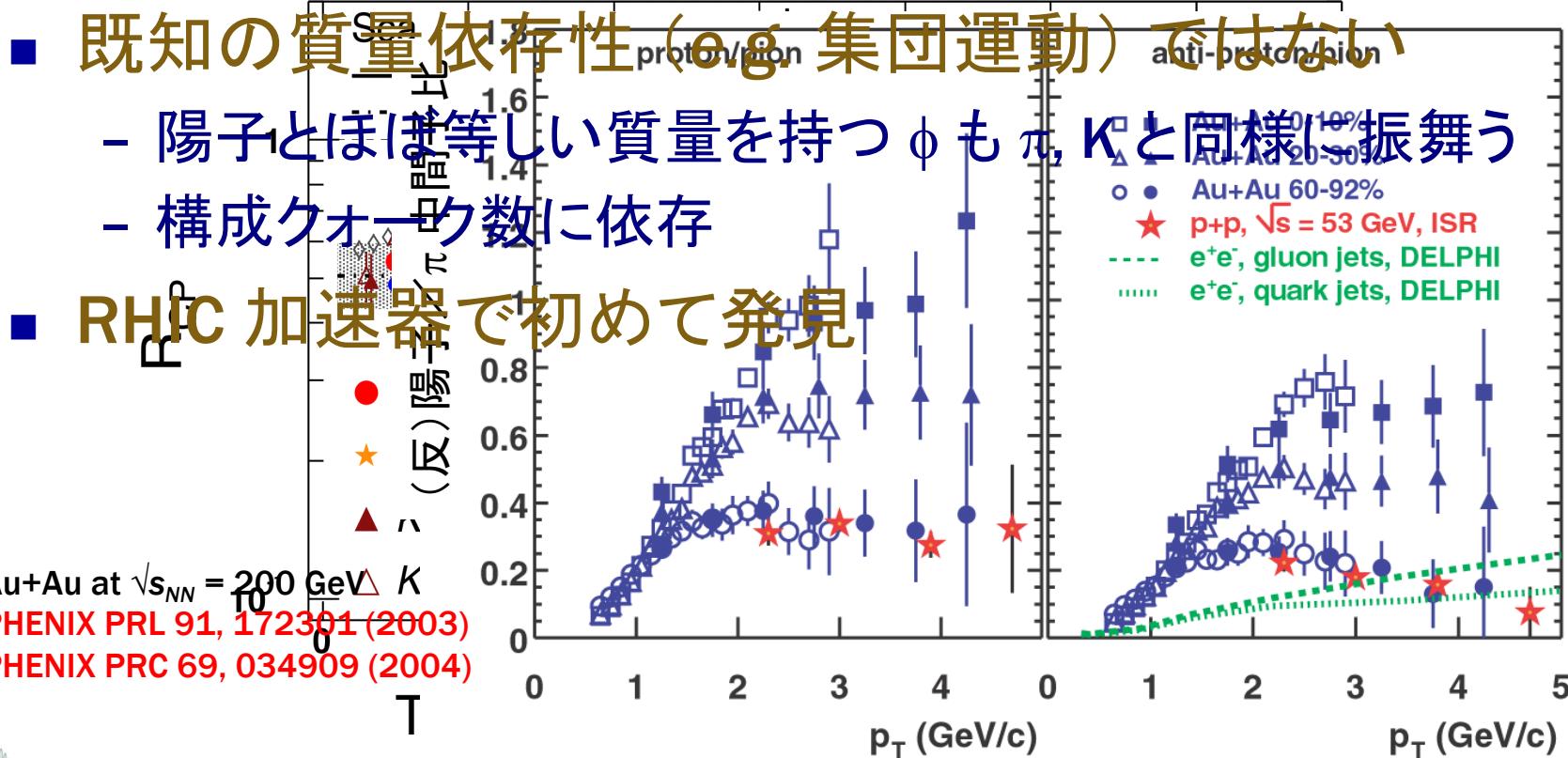
The matter
modifies jets



バリオンの“異常”生成



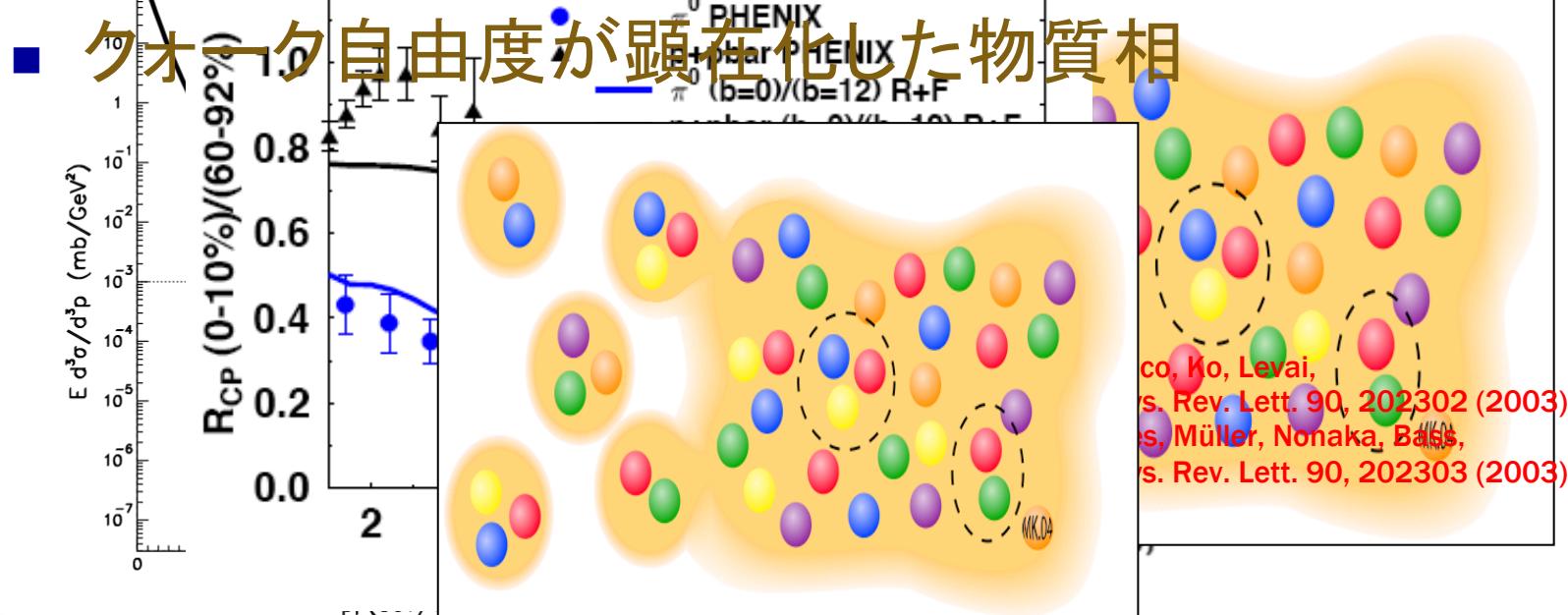
- バリオンと中間子に予期しない挙動の相違
 - 核子核子衝突からの差異を表す“原子核効果係数”
 - 既知のハドロン生成機構（色場破碎）では説明不能



クオーク再結合模型



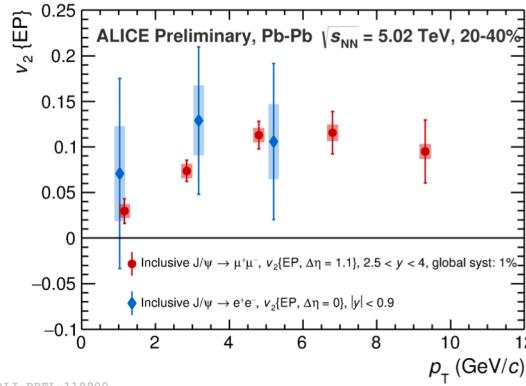
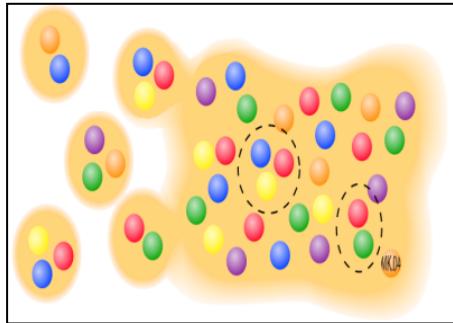
- 高横運動量ハドロン生成機構
 - 真空中の色場破碎（既知）
 - パートン媒質中のクオーク再結合（新規！）
 - 原子核効果係数 R_{AA} の横運動量依存性を説明
 - 集団的運動（橿円流）の横運動量依存性も説明



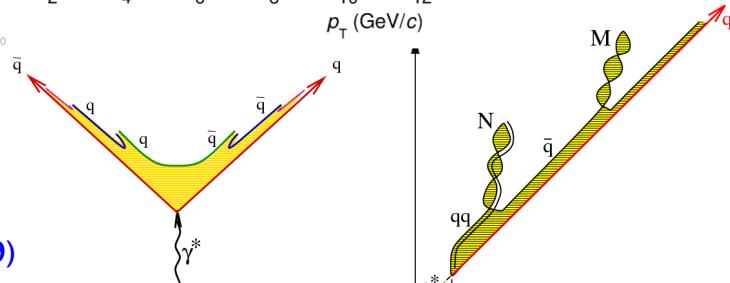
特有のハドロン生成機構 (\rightarrow 浜垣氏)



- クオーク再結合（コアレッセンス）模型
 - RHIC/LHC: s クオーク化学ボテンシャル ~ 0
 - LHC: c クオーク (e.g. J/ψ) まで遅い再結合



B. Z. Kopeliovich et al.,
Int. J. Mod. Phys. E18, 1629 (2009)

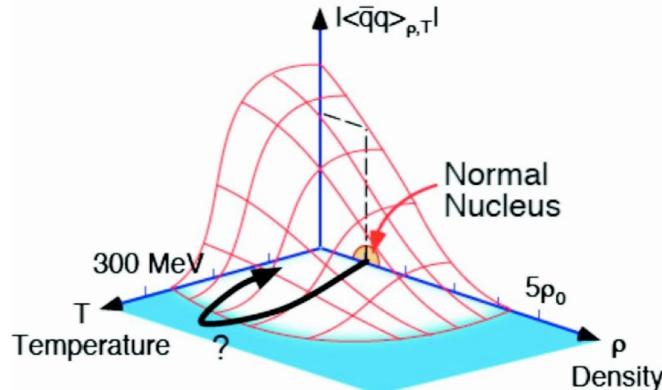


- 色場破碎によるクオーク対生成

カイラル対称性回復とハドロン質量変化



- 有限密度領域での“観測”報告
 - $p+A$ 衝突による核内 ϕ/ω (KEK E325)
↔ CBELSA/TAPS, CLAS-G7
 - $(d, {}^3\text{He})$ 反応による核内 π (鈴木, 早野ら)

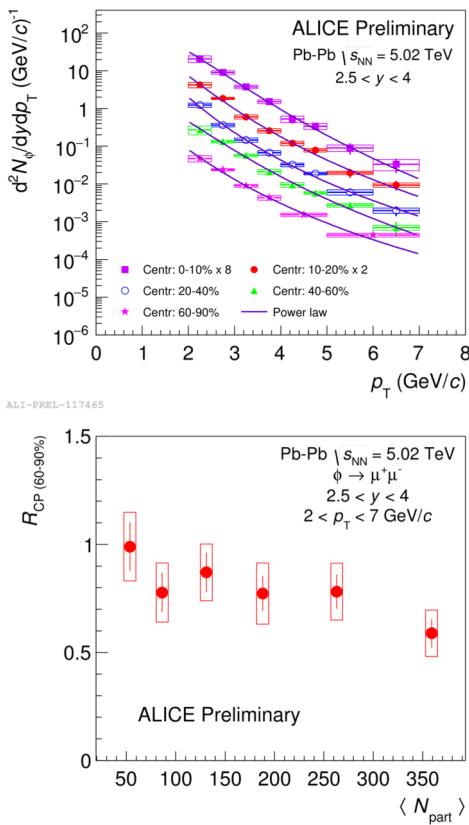
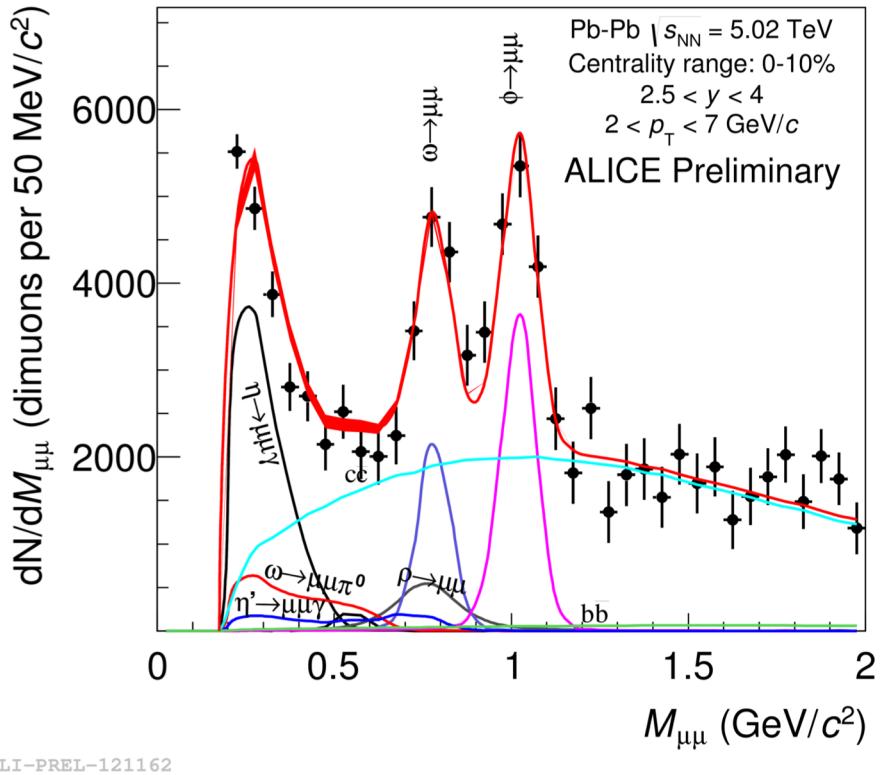


- 高温領域では未確認
 - レプトン対測定への挑戦
 - e.g. PHENIX 実験 RICH 検出器, HBD 検出器

ϕ , ω , ρ 高精度測定 (5 TeV Pb-Pb)



- 非相関 μ 粒子対の差引; 収量測定成功
- 電子対測定との結合に期待



A Large Ion Collider Experiment

- CERN LHC 加速器における原子核衝突実験
- 41か国, 177研究機関, ~1,800共同研究者



ALICE 実験日本グループが担う重責



■ 進行中の役職（抜粋）

- 2018 年度運転副責任者（郡司）
- ジェット物理作業部会共同座長（中條）
- 光子スペクトロメータ副責任者（杉立）
- 電磁力口リメータ副責任者（中條）
- μ 粒子飛跡検出器制御供給作業要素共同座長（志垣）
- 主飛跡検出器共通読出系責任者（大山）

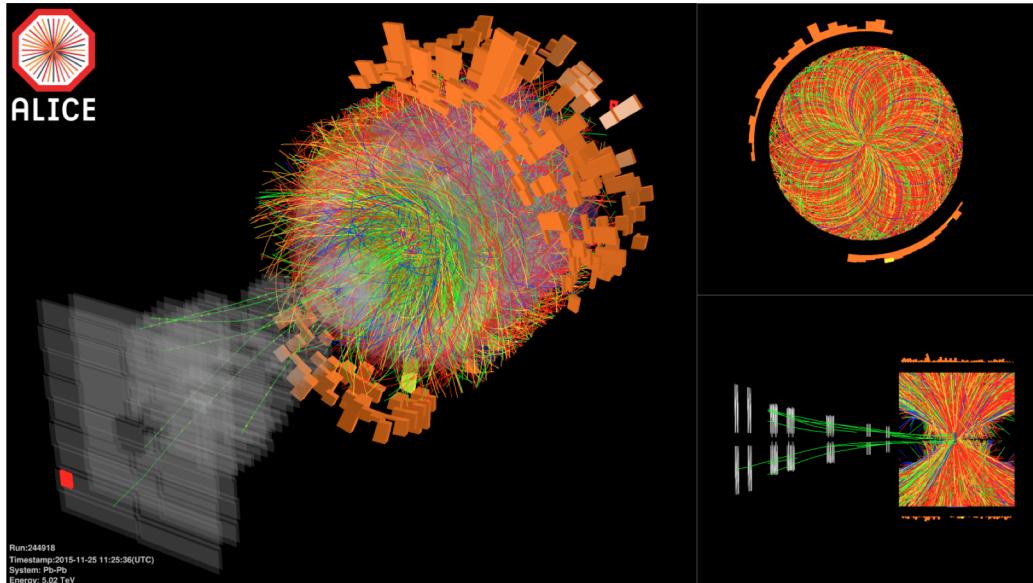
■ 終了した役職（極一部抜粋）

- 共同研究機関総会副座長（浜垣）
- トリガ責任者（大山）
- 低質量電子対物理解析部会共同座長（郡司）
- 重フレーバ電子物理解析部会共同座長（坂井）

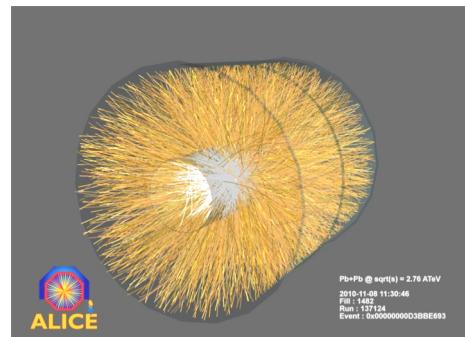
史上最高エネルギー Pb-Pb 衝突



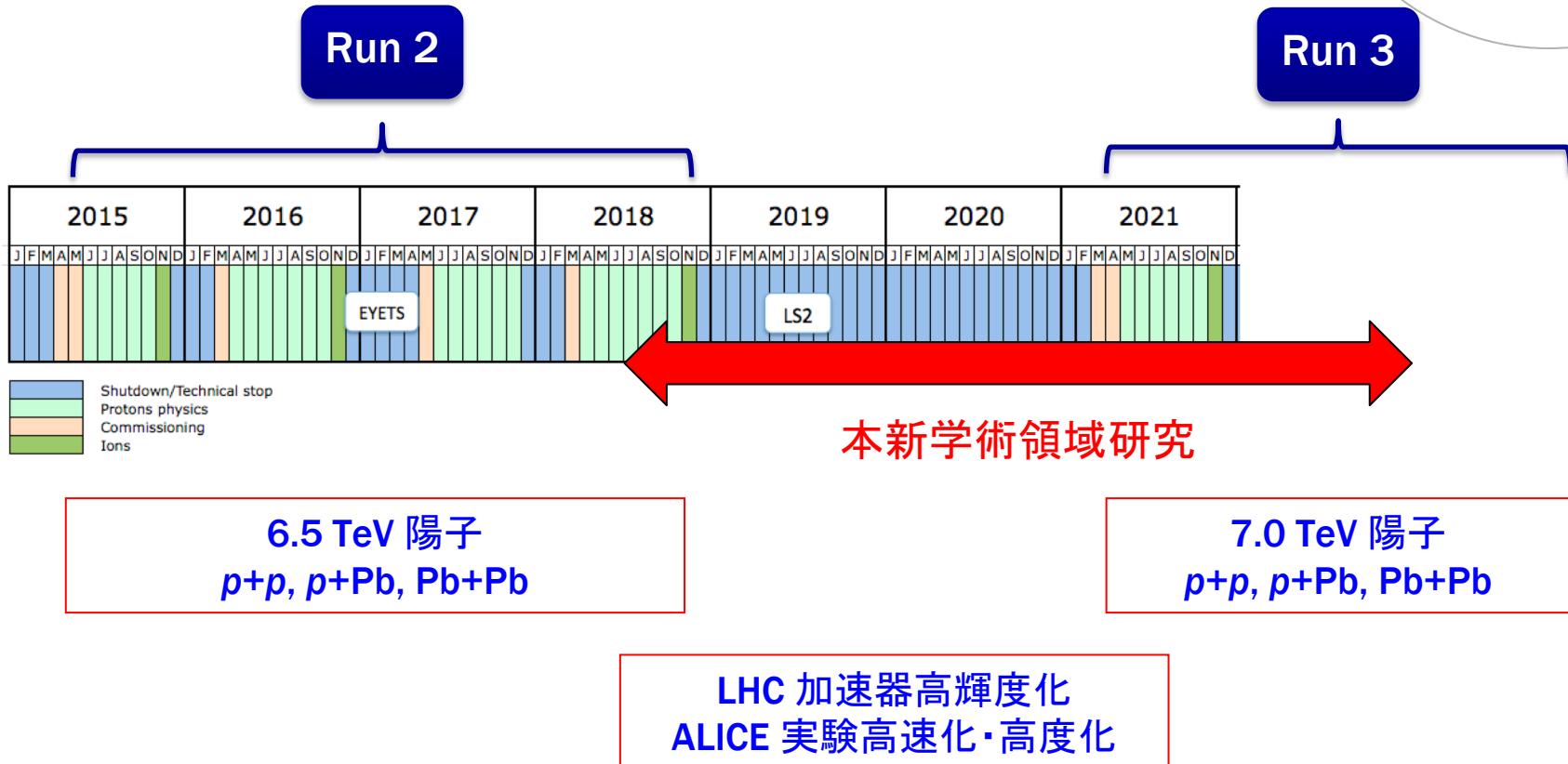
- 核子対あたり重心系 5.02 TeV (2015, 2018/11)
 - RHIC 加速器 Au+Au 衝突の 25 倍
 - 設計エネルギー 5.5 TeV



- cf. 2.76 TeV (2010 - 2011)



LHC 加速器運転予定



ALICE 実験高度化で狙う物理

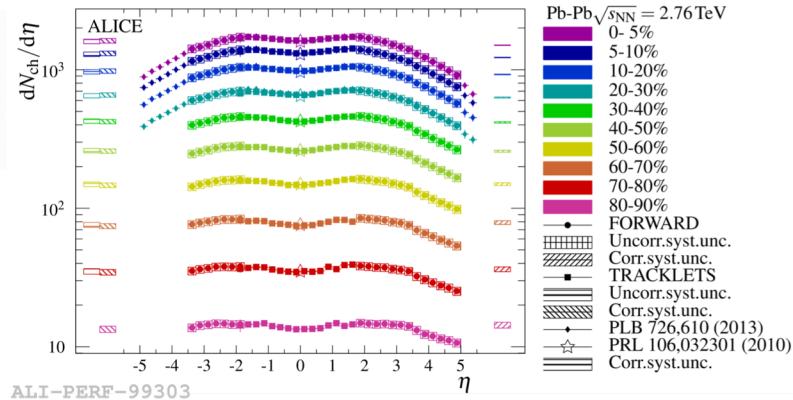
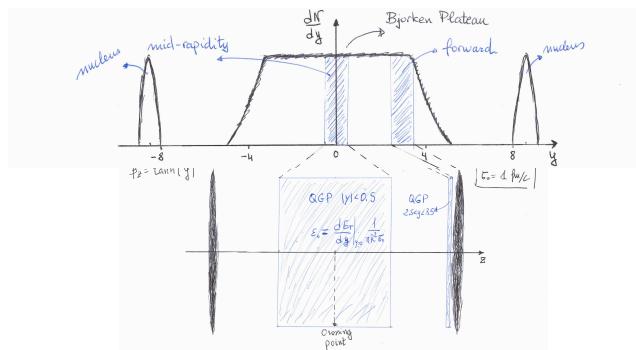


- 完了: ジェット, 重フレーバ
 - ✓ 2-3 倍高速化, 新検出器; 2013 - 2014 長期停止
- 現行: 低中横運動量現象 (ALICE 実験の独壇場)
 - 100 倍高速化, 新検出器; 2019 - 2020 長期停止
 - 高度化: 衝突点近傍飛跡検出器
 - 主飛跡検出器 (東京大学)
 - 共通読出系 (長崎総合科学大学)
 - データ処理 (原研 + ...)
 - 新規: 前方 μ 粒子飛跡検出器 (広島大学 + 長崎, 奈良)
- 未定: 前方物理?
 - 新検出器; 2024 - 2026 長期停止?
 - 新規: 前方光子検出器 (筑波大学 + 広島, 奈良)

電子測定と μ 粒子測定の止揚



- 中央／前方領域：解放クォーク相の異なる領域
 - QCD 相図の探査



- LHC エネルギーにおける新領域の μ 粒子測定
 - 物理的に興味深い“中央領域”
 - LHC では $|y| \sim 4$ まで (RHIC では $|y| \sim 2$ まで)
 - 技術的に利点の多い μ 粒子測定に好適な“前方領域”
 - e.g. $p > 4 \text{ GeV}/c$, $p_T < 0.25 \text{ GeV}/c \rightarrow |y| > 3.4$

計画研究 A01 班



- 研究代表者 志垣賢太（広島大学）
 - 研究統括, ALICE 新規前方検出器
- 研究分担者 浜垣秀樹（長崎総合科学大学）
 - ALICE データ収集高速化
- 研究分担者 中條達也（筑波大学）
 - ALICE グリッド計算拠点
- 研究分担者 郡司卓（東京大学）
 - ALICE 主飛跡検出器高度化
- 研究協力者 下村真弥（奈良女子大学）
 - ALICE 実験遂行, 物理解析
- 科研費雇用 山口頼人（広島大学）

まとめ, おわりに



- クオーク階層：物質世界の最基本階層
 - 高エネルギー原子核衝突実験により近年手中に
 - 極初期宇宙物理にも特筆すべき意義
- クオーク階層とハドロン階層を結ぶ特有の動的機構
 - クオーク再結合 (*cf.* 色場破碎)
 - クオーク対などの“セミ階層”顕在化の期待 → 浜垣氏講演
 - カイラル対称性回復現象
 - “セミ階層”粒子質量；物質質量発現機構解明へ繋がる期待
- LHC-ALICE 実験：最も明確な両階層間遷移の舞台
 - 世界最高エネルギーでの原子核衝突 (2015, 2018, 2021)
 - 検出器高度化による稀事象探索 (2021 -)