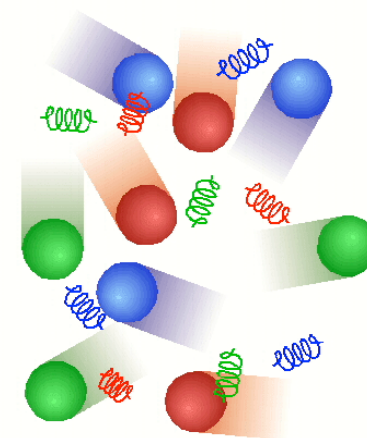


# 宇宙史拠点実習 CERN・ALICE班



課題；q-Pythia模型を用いた  
ジェットクエンチの研究


担当；三明

## LHCが挑む！ 1000万分の1秒後の宇宙

予測

周りに気を  
十分に配れない

スクランブル交差点  
にと考えると...



クーク

サラサラ度が低い？

LHCに比べ、混雑しておらず速度も遅い。方向を変える機会が少なく、スムーズに渡ることができる

周りに  
気を配っている

とってもサラサラ

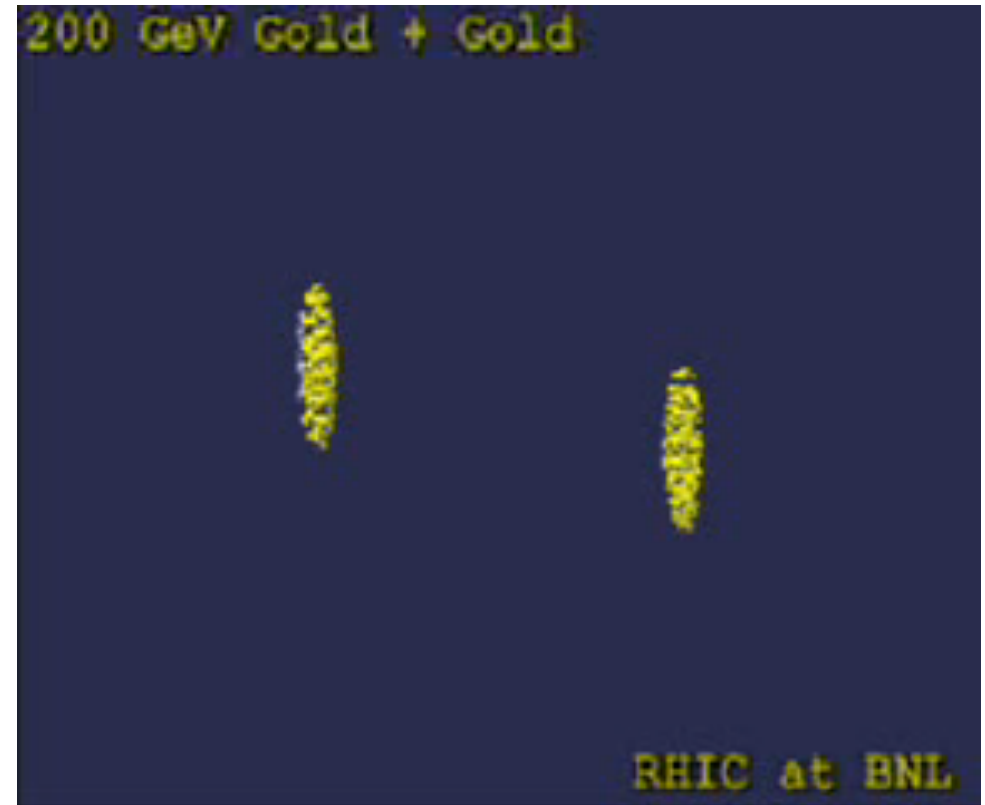
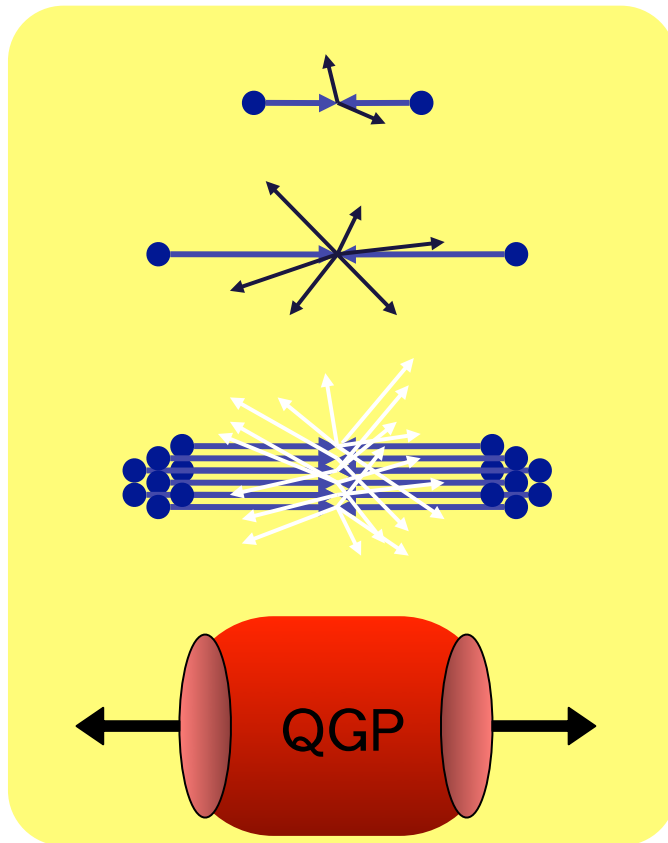
- # 『原始宇宙の 火の玉再現』

## ◆ 石橋記者は当研究室の卒業生

<https://aspara.asahi.com/blog/science/entry/2fxqkWSOE6>

大阪科学医療グループ・石橋達平

# 高エネルギー原子核・原子核衝突



- 相対論的高エネルギーまで加速された原子核と原子核を正面衝突させる。

- ◆ 核子 ( $m \sim 1 \text{ GeV}/c^2$ ) あたり  $100 \text{ GeV}$  まで加速

- ◆ 持ち込まれた運動エネルギーの一部が原子核程度の空間に解放される

- $\rightarrow > \text{GeV}/\text{fm}^3$  の生成!

# QGPの生成により期待される性質

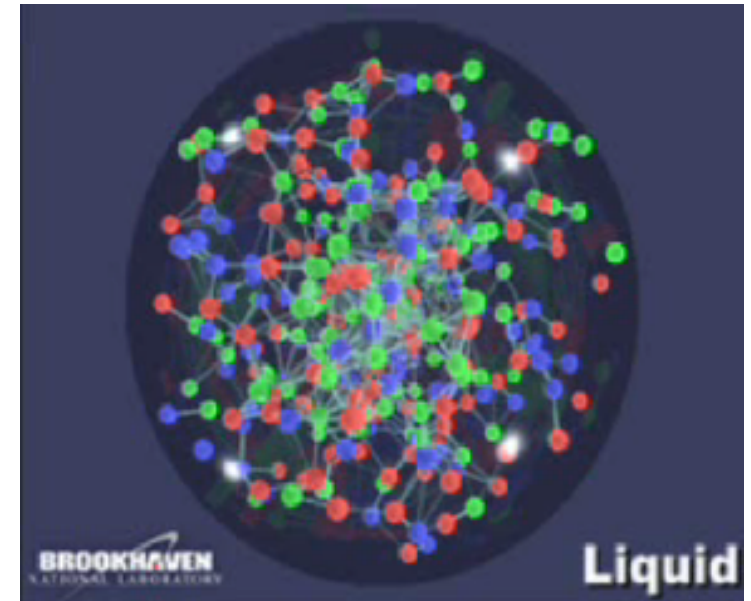
$\epsilon_{\text{QGP}} \sim 2 [\text{GeV}/\text{fm}^3]$  ← 例えば、Lattice QCDなど

$$\langle n_{q,\bar{q}} \rangle \sim \frac{\epsilon_{\text{QGP}}}{\langle m_T \rangle} \sim \frac{2\text{GeV}}{0.4\text{GeV}} \sim 5$$

$$\lambda_q = \frac{1}{n\sigma_{qq}} \\ \sim \frac{1}{5 \times 0.4} = 0.5 [\text{fm}]$$

$$\lambda_q \ll R_{\text{system}}$$

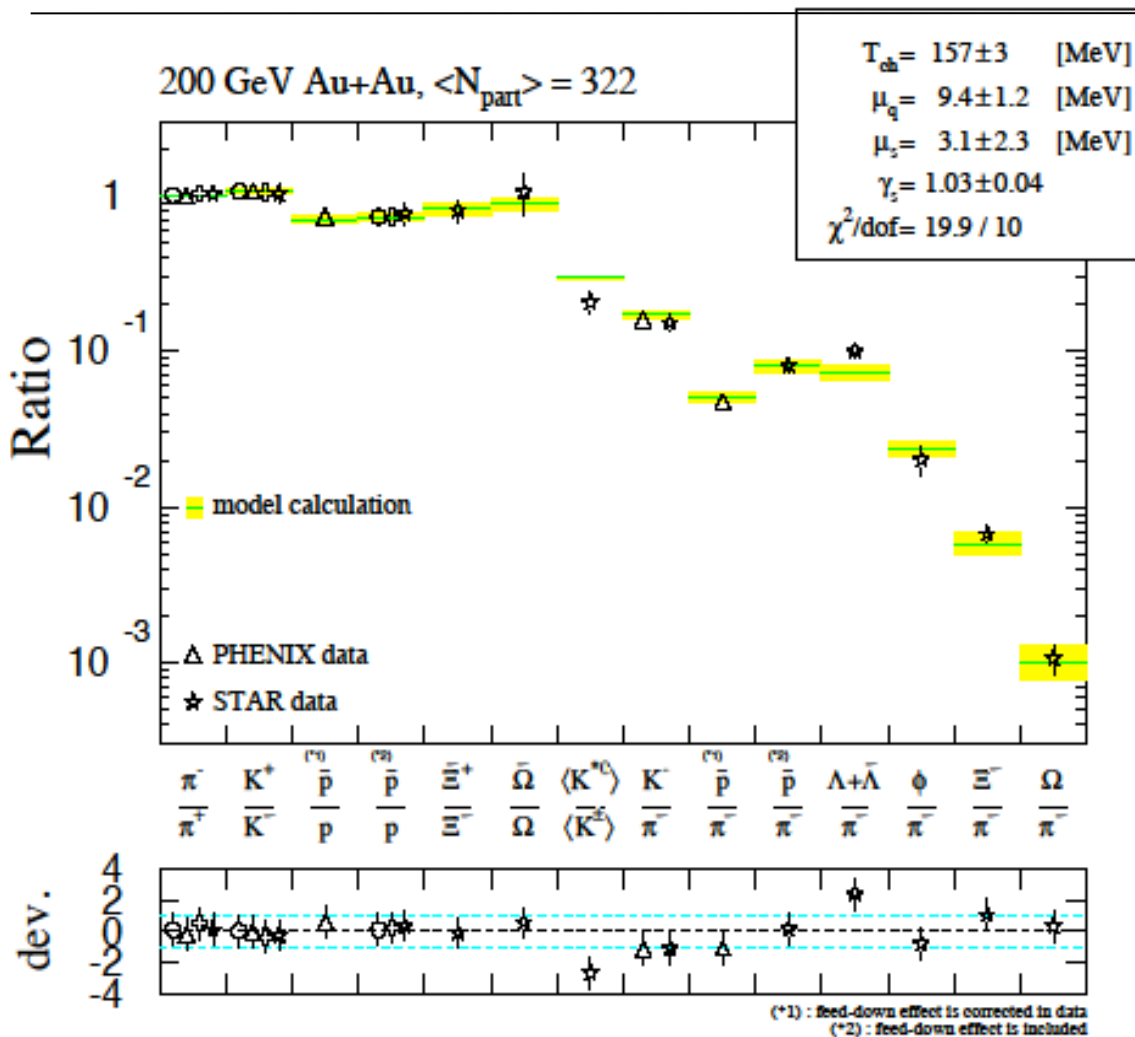
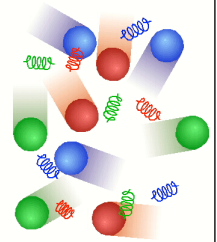
$$\therefore \sigma_{qq} \sim \frac{\sigma_{NN}}{3 \times 3} \sim \frac{4[\text{fm}^2]}{9} \sim 0.4$$



Animation by Jeffery Mitchell (Brookhaven National Laboratory). Simulation by the UrQMD Collaboration

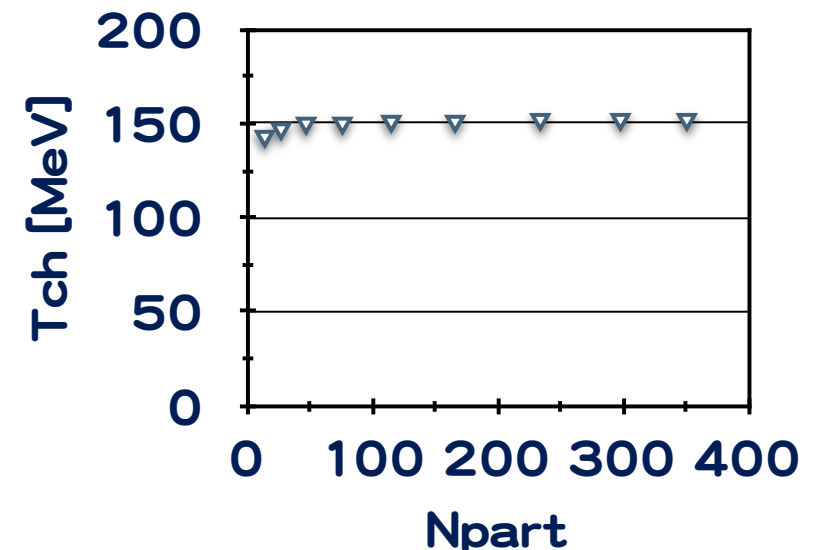
- クォークレベルの統計力学的性質
- クォークレベルの流体力学的性質

# 化学平衡の成立, $T_{\text{chem}}$



M.Kaneta, N.Xu, nucl-th/0405068

$$n_i = \frac{g_i}{2\pi^2} \int_0^\infty \frac{p^2 dp}{e^{(E_i - \mu_i)/T} \pm 1}$$

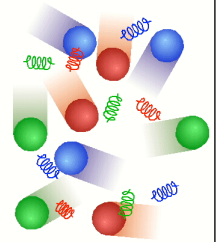


✓ Only **few** parameters fit every ratio very well !

✓  **$T_{\text{ch}}$**  stays constant from peripheral to central collisions



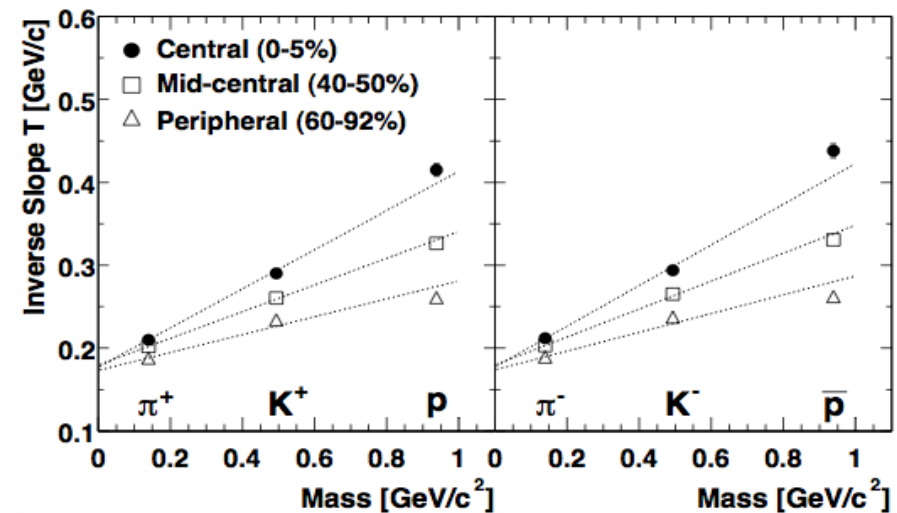
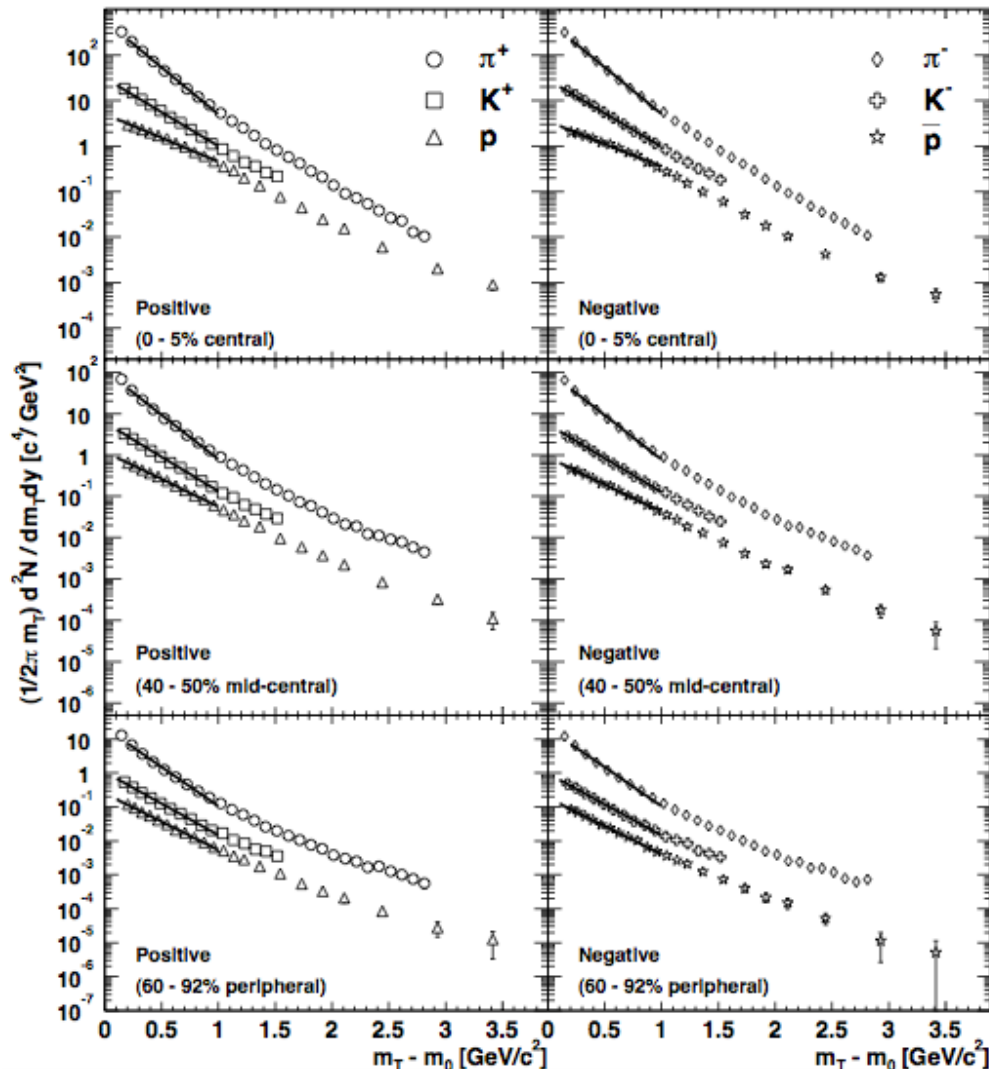
# 運動学的平衡の成立, $T_{\text{kine}}$



PHENIX, PRC69,034909(2004)

$$m_t = \sqrt{p_t^2 + m^2}$$

$$\frac{d^2N}{2\pi m_T dm_T dy} = \frac{1}{2\pi T(T + m_0)} A \exp\left(-\frac{m_T - m_0}{T}\right)$$

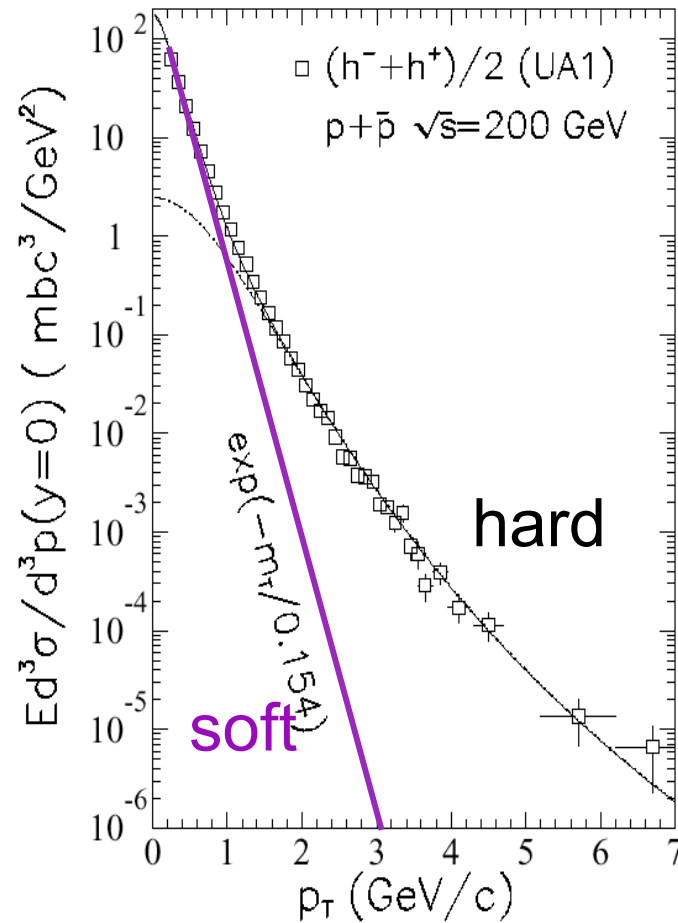
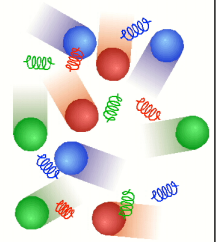


- ✓ Exponential in  $m_t$ 
  - Known as  **$m_t$  scaling**
  - Thermal distr.
- ✓ Flatter  $m_t$  distr for heavier particle mass
  - **Mass Ordering** of Slope param.
  - Effect of **Collective Flow**

$$T \approx T_0 + \frac{1}{2} m \langle v_r \rangle^2$$

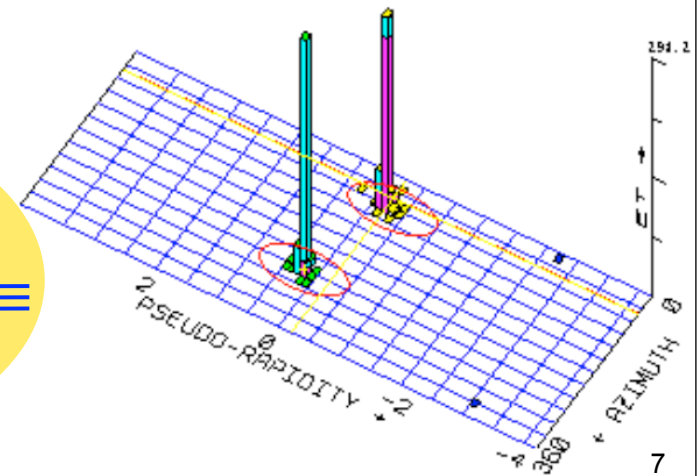
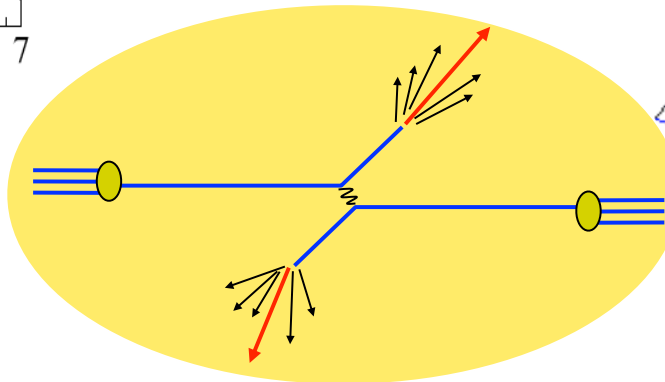
Collective Flow

# 粒子生成の第2成分：硬成分

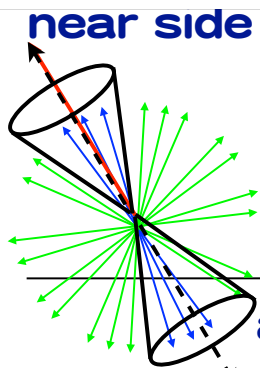


$$E \frac{d^3 \sigma}{dp^3} = C_0 \exp\left(-\frac{m_t}{T_0}\right) + \frac{C_1}{(p_t + p_0)^n}$$

- ✓ 軟成分；ボルツマン分布に従う
  - ✓ 硬成分；パートン（クォークやグルオン）の二体散乱
  - ✓ 二体散乱で生じた高エネルギーパートンが多数の粒子に破砕
    - → ジェット
  - ✓ 二体散乱に特徴的なback-to-back
- back-to-back jet



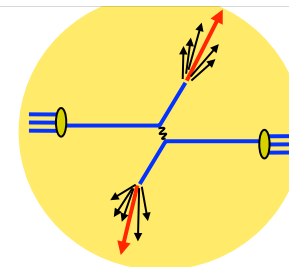
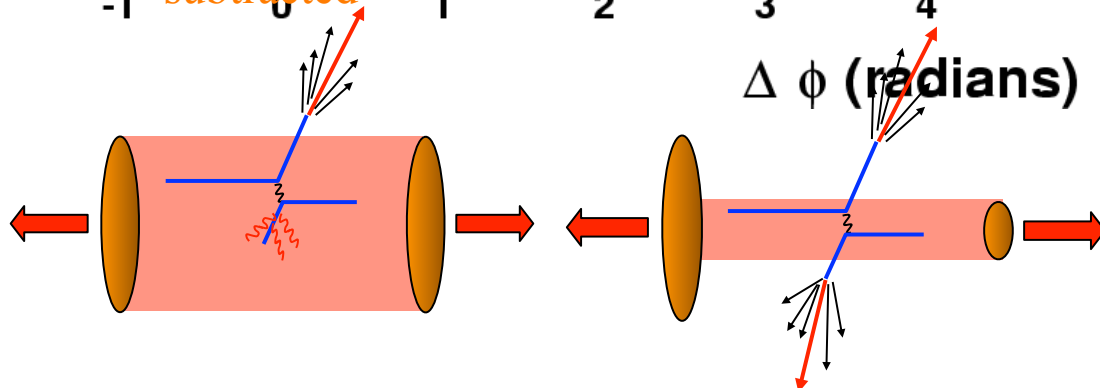
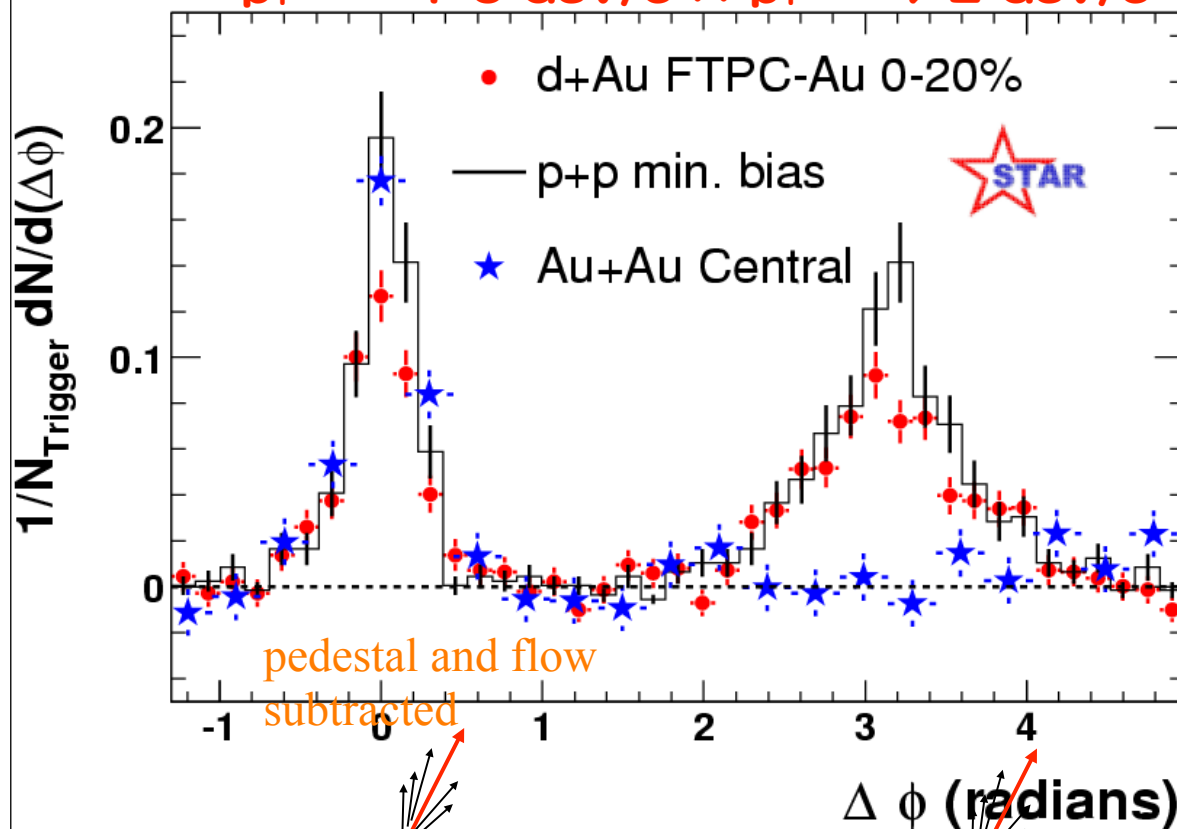
# ジェット消失現象



away side

Star; P.R.L. 91, 72304 (2003)

$$p_{T}^{\text{trig}} = 4 \sim 6 \text{ GeV}/c \times p_{T}^{\text{assoc}} > 2 \text{ GeV}/c$$



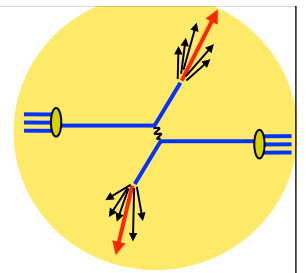
✓ Direct evidence of loss of 'jet'

✓ Azimuthal correlation w.r.t. high pt leading particle (trigger).

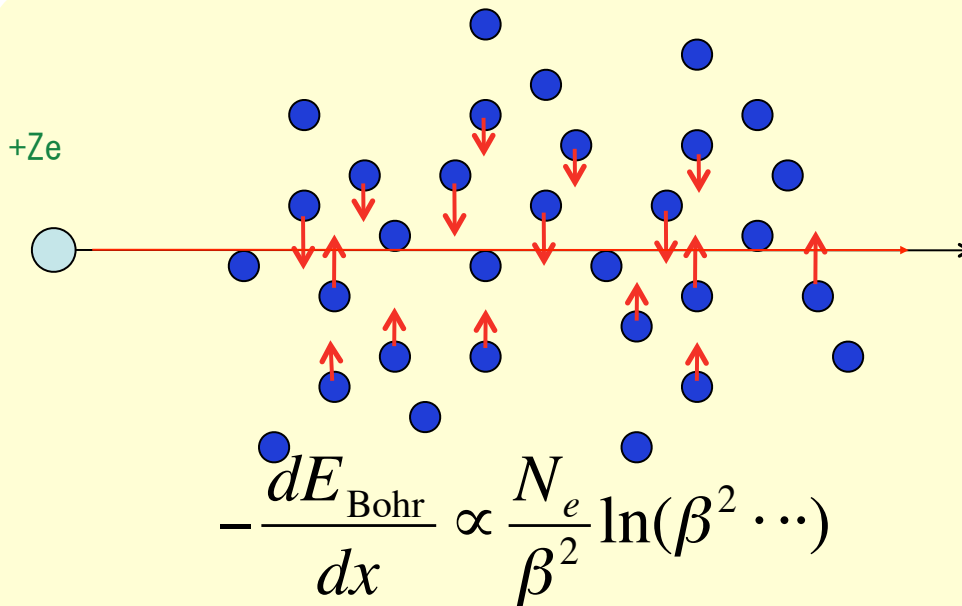
- pp ; clean di-jet
- dAu; similar to pp
- Au+Au; Similar on the same side (suggesting jet-like mechanism), but b-to-b disappeared
- Effect is not in initial but in final stage
- Energy loss of partons in dense matter created in Au+Au



# QCD的エネルギー損失

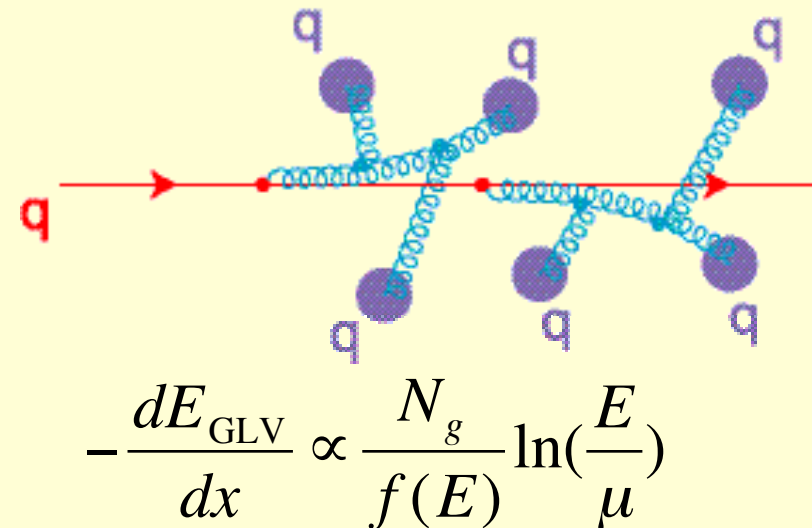


QED



Bethe-Heitler formula  
Energy loss  $\propto N_e$

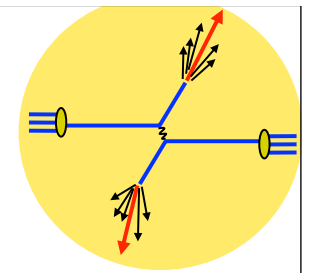
QCD



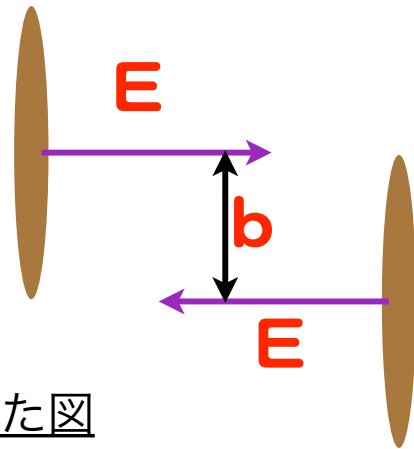
GLV formula  
Energy loss  $\propto N_g$

✓ q-Pythia模型；QCD的エネルギー損失を組み込んだ  
原子核・原子核衝突模型（硬成分のみ）

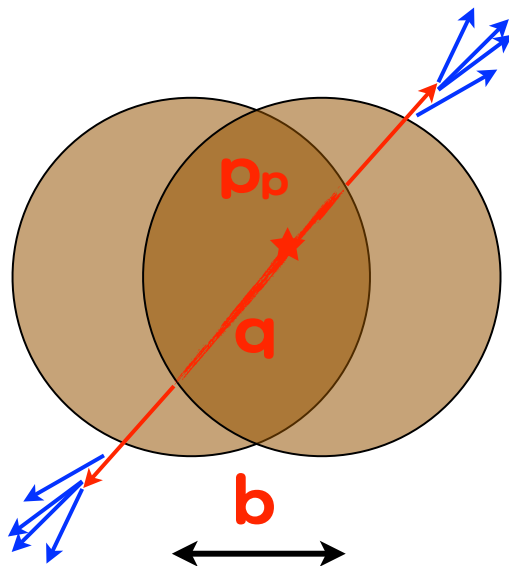
# q-Pythia模型計算の概要



原子核



横から見た図



ビーム軸から見た図

## ✓ 系統的研究

### ● パラメータ

⇒ QCD的エネルギー損失の大きさ ;  $q$

⇒ 原子核・原子核衝突エネルギー ;  $E$

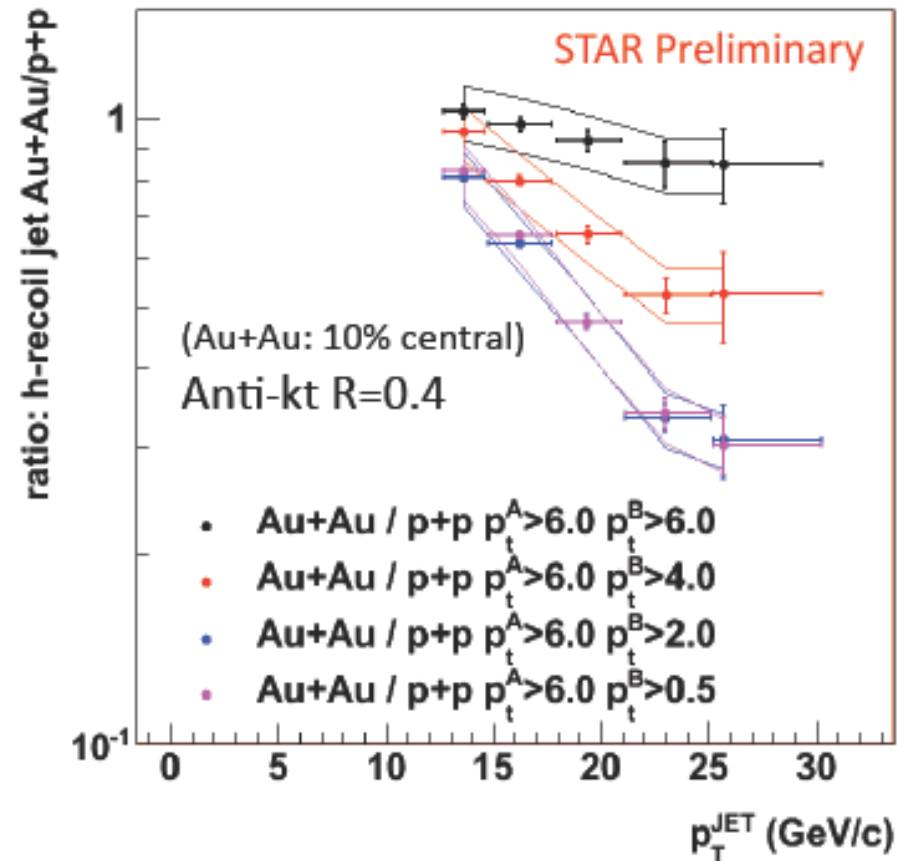
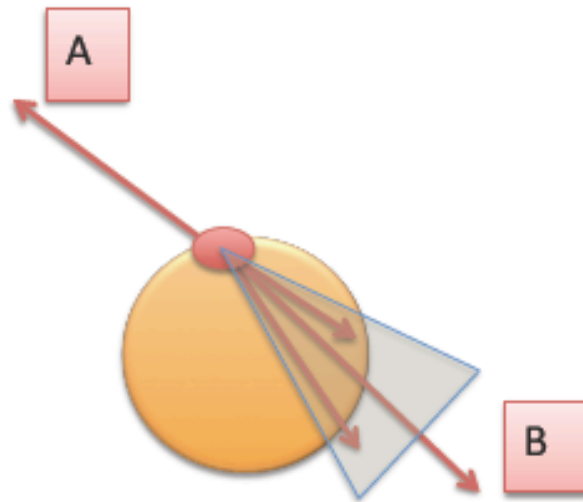
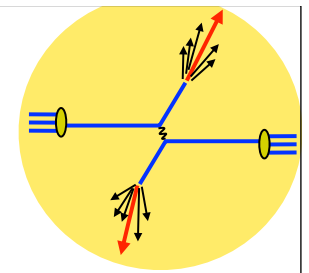
⇒ 初期パートンのエネルギー ;  $p_p$

⇒ 衝突径数 ;  $b$

## ✓ RHICデータとの比較

## ✓ LHCデータの予測

# RHICのジェットデータ例 1

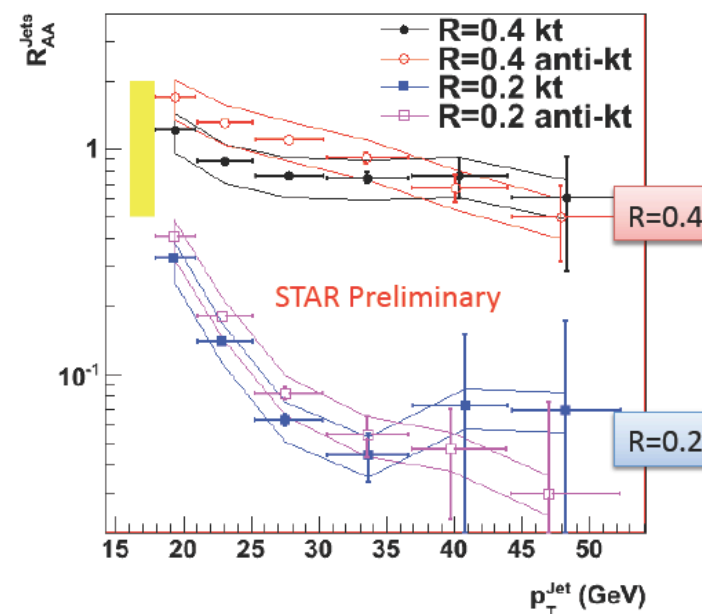
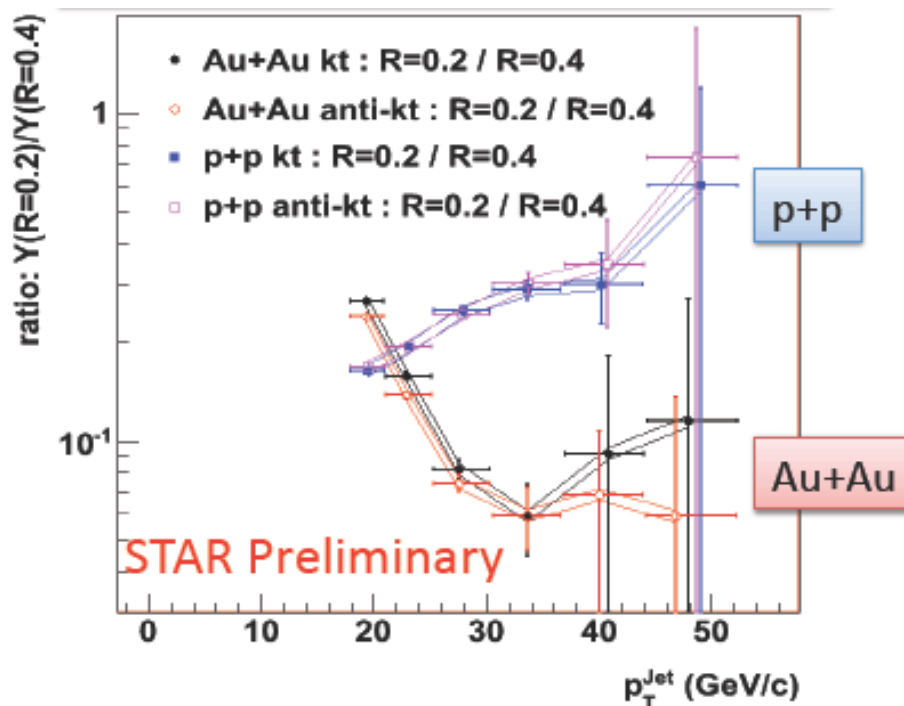
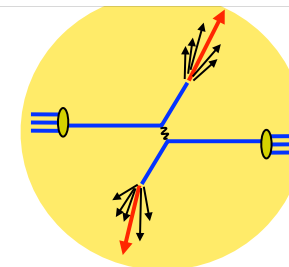


Significant suppression of the bias free recoil jet spectrum

Mateusz Ploskon (LBNL), STAR, QM'09

✓ Study of “jet quenching” in terms of the energy flow

# RHICのジェットデータ例2



p+p: "Narrowing" of the jet structure  
with increasing jet energy

Au+Au: Strong broadening of the jet  
energy profile

Mateusz Ploskon (LBNL), STAR, QM'09

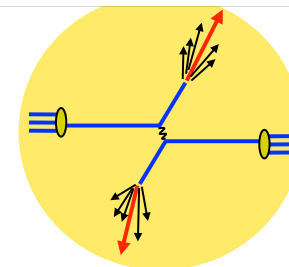
22

✓ Effects are energy loss and broadening !!

✓ Narrow cone may be another control variable

➡ We like to extend and bring up to a precision meas.

# 手順



- ✓ RHICのデータを勉強する
- ✓ q-Pythiaコード(Fortran)を眺める
- ✓ q-Pythiaコードを様々なパラメータ ( $q, E, b, p_T, \dots$ ) で走らせる
- ✓ RHICのデータと比較
- ✓ LHCのデータを予測
- ✓ 研究発表会へ