

ハドロンコライダー用 イベントジェネレーター開発の 現状と問題点

- NLO WG: 2003 年の進展
- 世界の動向
- ME-PS (-PDF) matching 問題の現状

尾高 茂

KEK

shigeru.odaka@kek.jp

Introduction

- NLO Working Group の概要
- NLO とは？
- 何故 NLO が必要か
- NLO 計算の概要
- GR@PPA の仕組

 昨年のトラペ参照

<http://odakasrv.kek.jp/ATLAS/MyTalks/Hiroshima030114.pdf>

昨年のトラペ

まとめ

月曜日に変更

- **NLO WG** は 2000 年 1 月より活動
 - 毎週水曜日午後 1 時にミーティング、参加歓迎
 - ミーティングに参加するだけでも、少なくとも「耳年増」になれる
→ 特に、これから Tevatron/LHC をやりたい学生
- GRACE を基にした hadron collider 用 **NLO Event Generator 自動生成システム** の開発
- 道具立ては整ってきた
 - GR@PPA, One-loop 補正ライブラリ, **Modified LL subtraction**, x-deterministic forward evolution, NLL-jet, etc.
 - Drell-Yan でテスト → 良好な結果; 詳細は今後
- **ME-PS matching 問題 (double count 問題)** はまだ決定的な解決策が無い → 議論が盛り上がっている
- 2003 年は変革の年? 新しい動きが始まりそう
 - 5 月 27 日 - 6 月 6 日: Les Houches Workshop
 - 7 月 2 日 - 8 月 5 日: LHC MC Workshop at CERN

GR@PPA_4b 出版, GR@PPA_All 整備中

NLL-jet に大きな進展

W production へ

CKKW 法、他の方法は?

忙しかった
GRACE/GR@PPA の
知名度は向上
新しい動き?

2003 年中の進展

- **GR@PPA** at LO
 - GR@PPA_4b の論文出版
S. Tsuno *et al.*, Comput. Phys. Commun. 151 (2003) 216
 - GR@PPA_4b version 2.01 を Web 上でリリース
LHA event interface をサポート (PYTHIA 6.2, HERWIG 6.5 対応)
LHAPDF をサポート
 - GR@PPA_All デバッグ中 (もうすぐリリース)
W/Z + jets, top-pair (6-body), di-boson (WW, WZ, ZZ; 4-body) を含む
- **NLO generator 自動生成**
 - Drell-Yan (QED) から **W production** に拡張中
 γ_5 vertex の補正、Forward evolution での flavor 選択の効率化、等々
- **NLL-jet** (NLL initial-state parton shower)
 - **大きな理論的進展**
H. Tanaka, Prog. Theor. Phys. 110 (2003) 963
三体分岐はゼロにできる (negative weight 問題の消滅)
Angular ordering とその破れが自然に導かれる
予想された全ての問題が解決か？

世界の動向 (1)

- **General-purpose generator**
 - **PYTHIA 7 (C++)** 開発は停滞
 - Sjostrand は PYTHIA 6.3 (Fortran) を出すつもりのような
 - **HERWIG++** 開発はそれなりに進んでいる (?)
 - **PYTHIA-HERWIG 共通 framework** 開発の話がある
 - 当初は PYTHIA 7 の framework を使うはずだった
 - **ISAJET** は SUSY の pre-processor に ...?
 - **SHERPA (Krauss)** は全てを自前で開発 (C++)
 - PYTHIA/HERWIG の対抗馬になる?
- **Parton-level generator (LO): GR@PPA の仲間**
 - **CompHEP**: generate した event を database 化して供給する方向へ; SUSY に進出
 - **MadEvent/MadGraph**: Web で generator 開発サービス
 - **AlpGen (Mangano)**: multi-jet に有利 (Alpha algorithm)
 - **AMEGIC++ (Krauss)**: C++, SHERPA の中身

LHA event interface
のおかげで general-purpose generator と parton-level generator の役割分担が明確になってきた

世界の動向 (2)

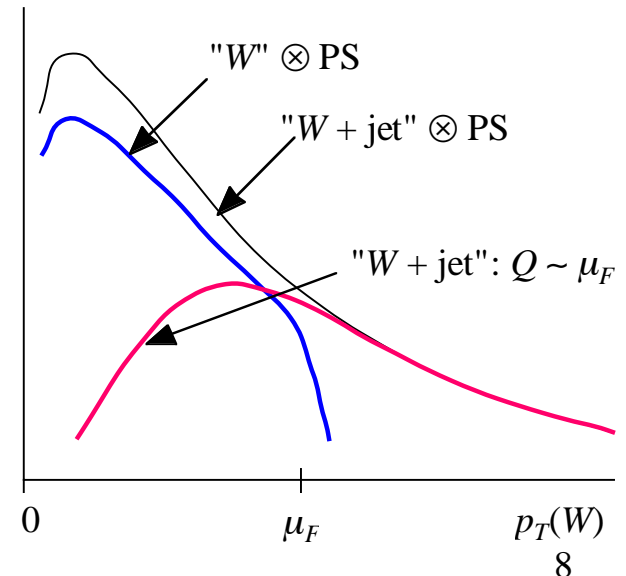
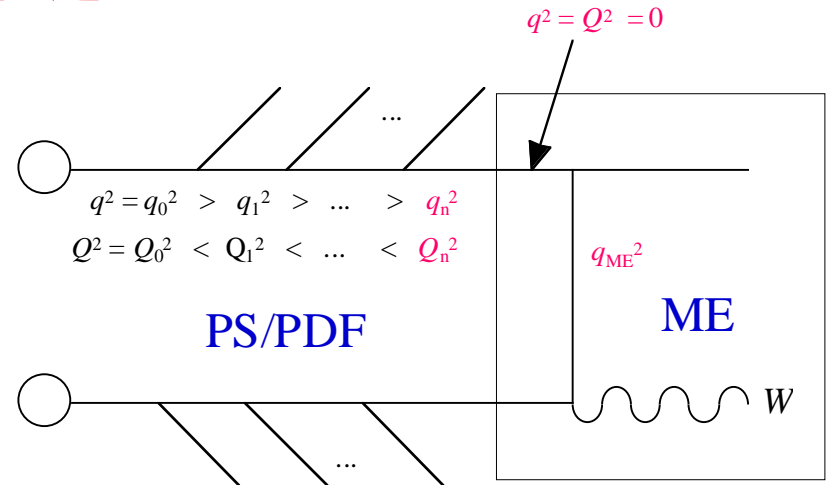
- HELAC/PHEGAS/JeI (Papadopoulos): Alpha に似たもの？
- 特定用途向け package: MadGraph base が多い
AcerMC, MadCUP, ...
- NLO
 - 対抗馬は MC@NLO (Frixione, Webber) のみ
Les Houches 2003 で相互理解 (?)
MC@NLO は ME を手で入れるので三体くらいが限界か？
 - 特定用途のものはいくつか有る
MCFM, Diphox, ...
 - LHC 開始までに何が飛び出すか分からない
- Parton shower/ PDF
 - NLL-jet の対抗馬は無し
 - PDF library は LHAPDF が主流に ... ?
誤差評価の仕組みが組み込まれた
 - p_T を含む PDF 開発の動きもあるようだ

昨年のトラペ

ME-PS matching

double count 問題

- 実はかなり一般的な問題
- 以下の場合に深刻
 - ME の final state に colored parton(s) がある
 - $E_T(\text{jet}) < \mu_F$
- 例
 - NLO, $W/Z + \text{jet}(s)$, t -pair + jet(s), $H + \text{jet}(s)$
- 問題点
 - 少なくとも LL 近似では $Q_n^2 < Q_{\text{ME}}^2$ のはず; i.e., small- p_T jet は抑制される
 - ところが、ME は on-shell で計算される; i.e., Q_{ME}^2 はいくらでも小さくなれる
 - 結果的に small- p_T jet を二重に評価していることになる (double count)
- Final state でも同様のことが起きる



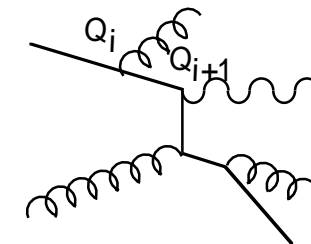
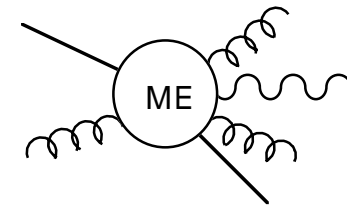
解決策

- NLO generator では ME からの **collinear (log)-term subtraction** が自然
 - (Modified) LL-subtraction by Y. Kurihara
 - MC@NLO も多分同様
- LO では **CKKW 法** が注目されている
- 他にも簡単な解決策があるのでは？

CKKW

- Energy scale ($\mu_R = \mu_F = \mu$) を非常に小さくして **ME (量子力学)** で **event を生成**; 0 jet, 1 jet, 2 jets, ...
- 各 event を jet clustering を使って **PS (確率過程)** の解釈に **置き換える**
- Sudakov form factor (Q_i から Q_{i+1} まで分岐しない確率) と $\alpha(Q)/\alpha(\mu)$ で各 event の weight (< 1) を計算する
- PS からの hard radiation を除く

- 元々は $e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow \text{multi-jet}$ に関して考案された方法
 - Catani, Krauss, Kuhn and Webber, JHEP 11 (2001) 063
- Hadron collision (initial-state jets) についてテストが進んでいる
 - Mrenna (PYTHIA), Richardson (HERWIG), Krauss (SHERPA/AMEGIC++)
- 0 jet, 1 jet, 2 jets, ... と **沢山の event generator を用意する必要**がある

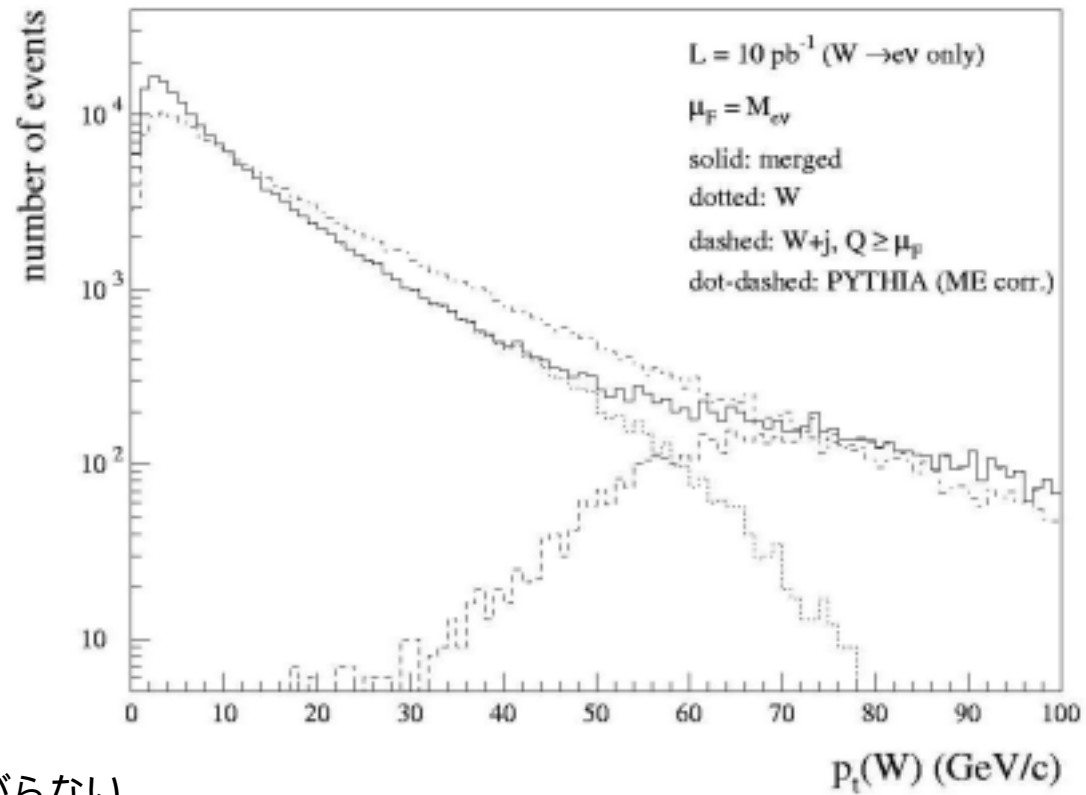


私の提案

多少つなぎの精度が悪くても 0 jet, 1 jet, 2jets くらいをつなぐ
簡単な方法があるのでは？

- ME で **jet separation** scale を通常 of hard interaction の energy scale (μ) に採る
 - Energy scale を全て同じにする $\mu_R \approx \mu_F = \mu_{PS} = \mu$
-
- Multi-energy scale、virtuality-ordering の破れの問題が無くなる
 - No reweight: Sudakov ~ 1 , $\alpha(Q)/\alpha(\mu) \sim 1$
 - μ は PS/PDF の **collinear 近似** と ME がほとんど一致する領域にとる必要がある
 - その様な領域が存在するか？
 - PDF-ME matching は多分 OK
 - **PDF-PS mismatch が問題**
 - Naive PS でのテストが必要 (PYTHIA-PS は細工だらけ)
 - NLL-jet で解決？

Test of W-W+j merge using GRAPPA (PYTHIA-embed)

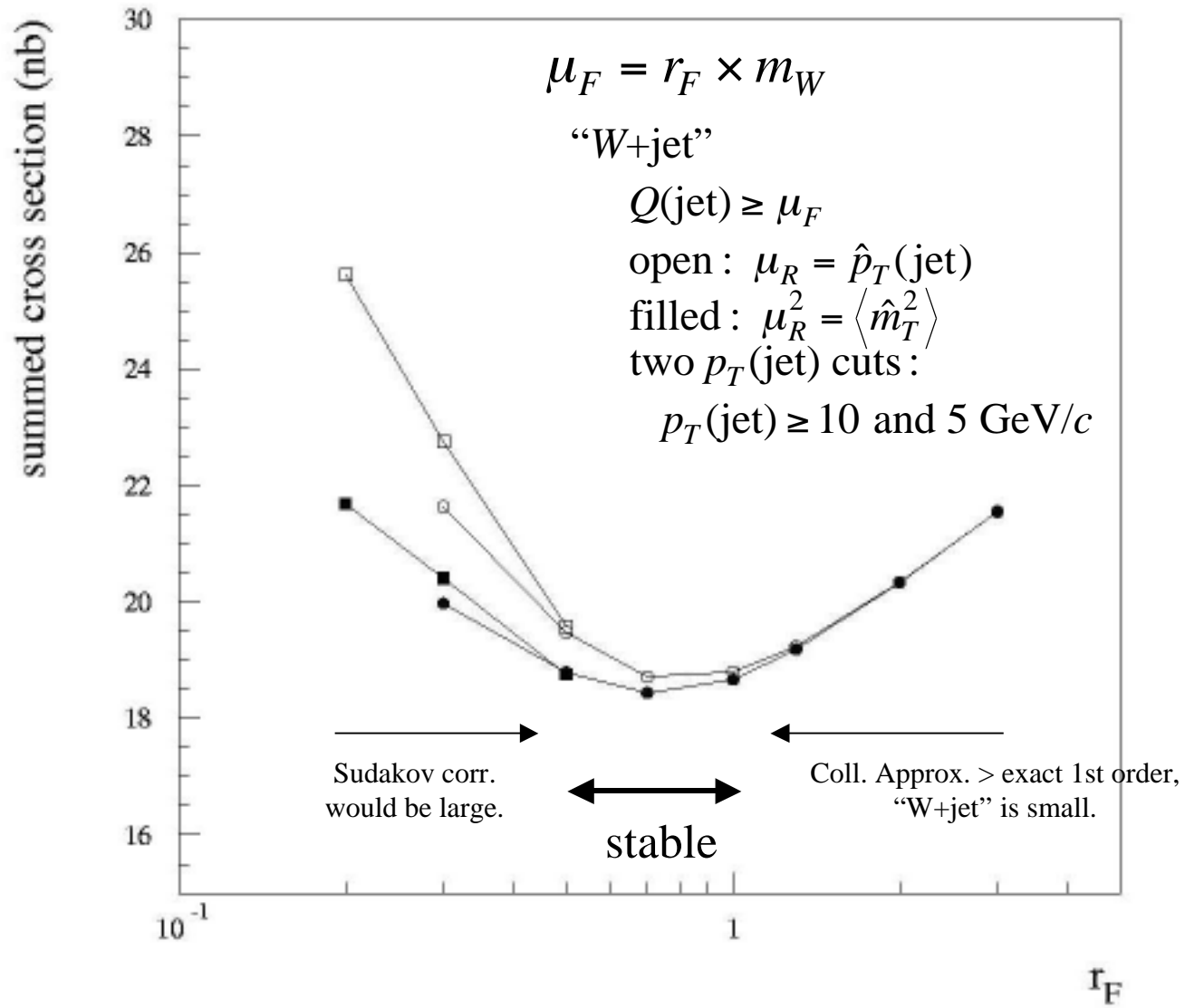


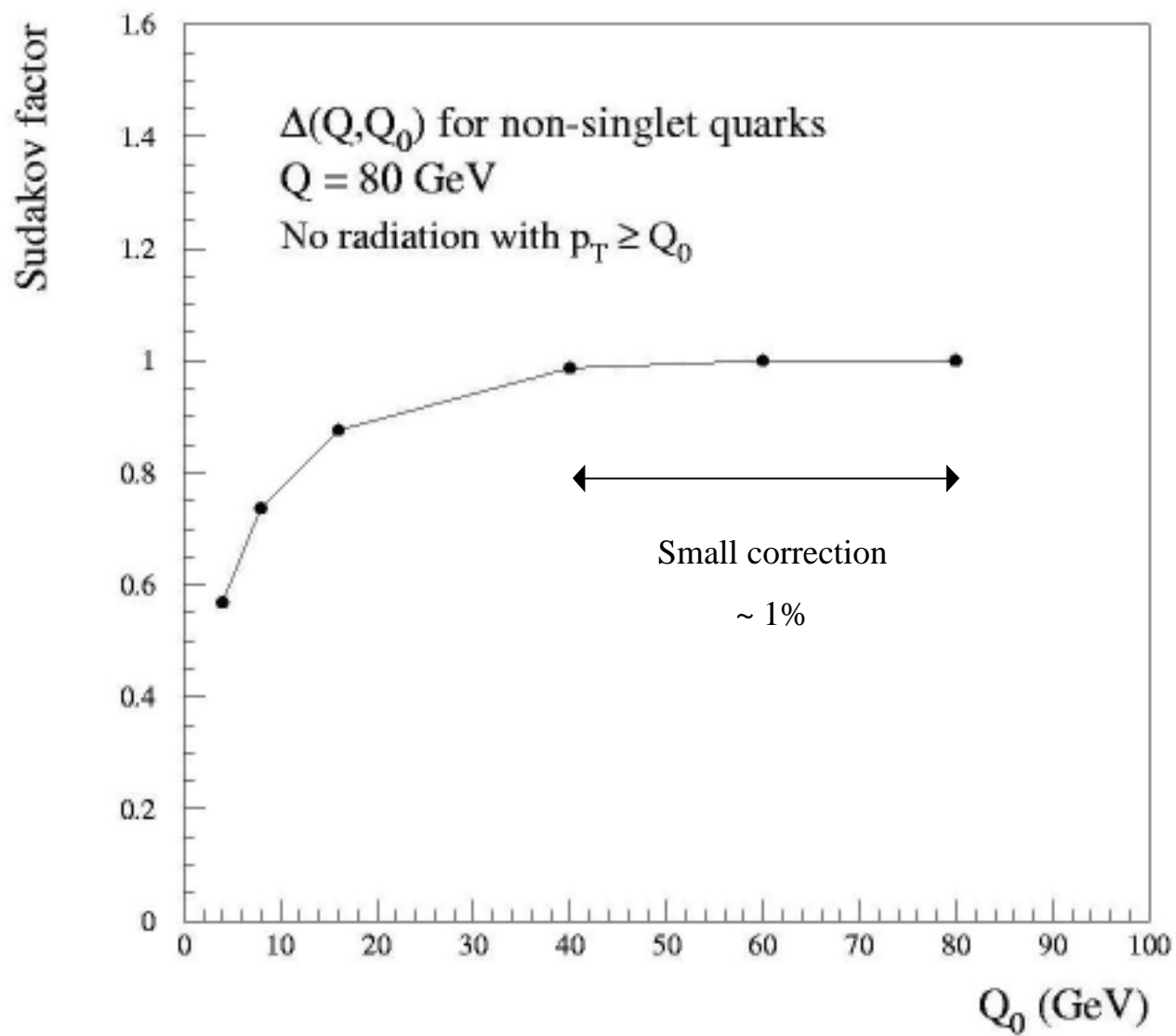
旨くつながらない

“PYTHIA w/ ME corr.”が一番もっともらしい分布のはず

low p_T でこれと一致しない → PYTHIA-PS の問題？

“W” + “W+jet” at LHC





まとめ

- **NLO event generator 自動生成システム**の開発は順調に (?) 進んでいる
 - Drell-Yan (QED) → **W production**: もうすぐ出来る
 - 次の目標は NLO “W + jet”
- **NLL-jet (initial-state NLL-PS) に大きな理論的進展**
 - Coding 進行中
- **GR@PPA (LO event generator) には多くの process が組み込まれた**
 - **GR@PPA_All**: もうすぐ release
- **ME-PS (-PDF) matching 問題**にはいくつかの現実的な解決策が現れてきた
 - NLO generator での ME からの **log-term subtraction**
 - **CKKW 法**の initial state への拡張
 - PYTHIA, HERWIG, SHERPA への組み込み
 - 私の提案 (ME restriction)
 - PYTHIA-PS ではダメ → naive PS でテスト