プログラミング言語処理系論
Design and Implementation of Programming Language Processors

佐藤周行

（情報基盤センター/電気系専攻融合情報学コース）

schuko@satolab.itc.u-tokyo.ac.jp

http://www-sato.cnl.t.u-tokyo.ac.jp/SATO.Hiroyuki/PLDI2020/

Zoomの利用

- Zoomを用いたオンライン講義になります。
- ITC-LMSを参照してください
  - 各回のスライドはITC-LMSに載せます
  - Zoom利用のためのURLもITC-LMSに掲示します

オンライン対応

- 送り手の帯域には十分余裕があります
- 受け手の帯域がどうなっているかについて想像力を働かせています
  - こちらは（音声はともかく）無駄な動きをしないようにします
  - 帯域の確保のために、受け手側でビデオの送出を止めることを勧めます
  - LMSにアップロードされた資料を自分で読み込む自信と時間的余裕があれば、極端な話、リアルタイムに授業に参加する必要はありません
  - どのような回線契約の下にいるか考えてください
    - 光の固定回線があれば、家での視聴がベストでしょう
    - 小さいMobile機器を使うことを予定する場合、Zoomに110分つなぎ続けることの機器への負担を考えてください（バッテリーの点検、セカンダリーバッテリーの確保）
    - 研究室などに登校して視聴することを予定している人は、一定のリスクを取っていることを意識してください

この講義の目的（シラバスから）

- インターネットが人々の生活の基盤となりつつある中、そこを舞台としたセキュリティに関する事件、事故が多発している。特に、ネット上提供されるサービスに関連して、新たな課題が指摘されている。ビッグデータと呼ばれるネット上に流通する大量のデータ、特にネット上の個人にひもづくパーソナルデータと呼ばれるデータの処理に関し、プライバシーを含めて多くの新しい問題が俎上に上っている。また、会社や大学といった組織にとっても、ネットとどう「つきあって」活動を最適化するかについて多くの課題が指摘されている。それらに対応するために暗号化、PKIを含むさまざまな技術と制度が提案され、実際に効果を上げている。
- ここでは、クラウド等、現状の技術を踏まえながら、情報セキュリティに関係する技術とそれを実際に配備する制度の両方について講義を行い、学会と社会の具体的な要求に応えることを目標とする。
- この講義は、情報セキュリティの理論もさることながら、実際の場面でどう理解され、実践されているのかの解析にポイントをおくものである。

講義の目的(シラバス)

アルゴリズムを表現するためのプログラミング言語でかかれたプログラムを具体的なアーキテクチャに向けて最適なコードに変換することは、従来からコンピュータサイエンスの中心的な話題であったが、プログラミング言語の抽象度とアーキテクチャの複雑度の両方が飛躍的に増している現在、その重要度と問題の複雑度は飛躍的に増加している。
本講義では、プログラミング言語をどう設計するか、そこで表現する概念をどう実装するか、その時に処理効率をあげるにはどうしたらよいかを理解することを目標とする。

今年度の具体的な目標

- 現代的なプログラミング環境の理解
  - 動的/静的型付けの意義とやり方
  - 高速プログラミングが可能な言語に対するリッチなAPI/ライブラリの提供
  - スクリプト言語でのAgileな開発環境
- 現代的なプログラミング環境の構築
  - スクリプト言語を実際に定義して書いてみる
  - VMを実際に定義してそこへのコンパイラを書いてみる
- （後述しますが）データ処理のための簡便な環境の構築は、（情報関係に限らず）研究を加速する

今年は何を教材にするか…

- 言語処理系として
  - CPython ソースの解析込みで
    - 今も進化しているが、言語自体は古い
- 言語処理系とVM
  - PyPyとRPython ソースの概略説明込みで
    - プロジェクトは10年前のものだが、今も保守されている
- 型システム
  - TypeScript ソースには触れない（多分）
    - 昔は数理論理との関係、今は生産性の観点から
- 古い言語やシステムにはできるだけ触れないが…
  - Perl5, (Java, JVM, …)

- （スクリプト）言語を設計、実装するのは実はそれほど難しくないが…
- 世間の状況（state of the art）をきちんと理解しておかないと…
  - 何を定めれば言語を設計したことになるのか？
  - 言語定義、実装のための標準的な技術は何か？
- 具体的にはPythonのソースにあたりをつけられるようにする
- Pythonを超える何かを自分で設計、実装できるようになればなおよい

- State of the artといえば
  - プログラミングをめぐる世間の動向
    - 標準化をめぐる熱い戦い
    - High Performance Computing (スーパーコンピュータ)システムを意識したプログラミング環境の構築
    - High Productivity Computing (IDE, Framework)を意識したプログラミング環境の構築
      - Pythonを核として、各種ライブラリを統合して提供すると、現在のMLのプログラミング環境になるわけで…

今日の予定

- 今回はオリエンテーションです。つまり
- この授業を取る（受講する）べきかどうかの決定をするための情報を与えるのが目的です
- 進行予定
  - 授業の進行予定
  - 背景の説明
  - プログラミングの変遷
  - プログラミング言語の歴史

講義予定

1. 授業導入
   4/6
2. プログラミング言語概説と定義、標準化の手法（3回）
   4/13, 4/20, 4/27
2. プログラミング言語の定義の手法(4回)
   5/11, 5/18, 5/25, 6/8
3. VMと実行時環境, 統合プログラミング環境(2回)
   6/15, 6/22
4. プログラム解析と最適化(2回)
   6/29, 7/6
5. 進んだ話題--「正しさ」の保証(1回)
   7/13

ここまで聞いて、少し手を動かすと、
自分でプログラミング言語を設計したく
なります（たぶん）

プログラミング言語の定義と標準化

- 岩下英俊さんに1回お話をしていただきます
  - JIS Fortran委員会　委員長
  - 高性能Fortran推進協議会幹事
  - 富士通でHPCのコンパイラをしていた方です
    - 富士通でHPCというと…

プログラミング言語の標準は

- 結構えぐい話でして…
- E.g. Fortran
  - ISO: Fotran 90→ 95 → 2003 → 2008 → 2018
  - JIS: 90 → 95 → 2003 → (blank) → 2018
- C
  - ISO: C 89 → 95 → 99 → 11 → 17
  - JIS: 89 → (blank) → 99 → (blank) →

具体的にはどういう授業か

- プログラミング言語の処理系についての話です
- 処理系については、最近の話題は「最適化」に集中しています(2014年はこう書いた)。 しかし…
- 次第に「プログラミング環境」提供の視点が優勢になってきました
  - 「高速化」は、依然、コンピュータアーキテクチャ系の研究やアプリケーションソフトの研究で行われている
- 処理系については、Webプログラミングに適した動的型環境をはじめとしたスクリプト言語を軸とした環境提供が当たり前のことになっています
  - Go, RUST, Swift, PHP, Python, …

つまり

- 現代的な意味でのプログラミング言語の需要は「スピード」だけではない
  - プログラムの生産性の重要性が明らかに。
    - High Performance Computing から High Productivity Computingへ（誰うま）
    - オブジェクト管理、型チェック、メモリ管理等、地味な仕事の自動化
    - 高速化させるところの局所化（ライブラリ提供等）
  - 標準規格の重要性が明らかに。
    - プログラミング言語を設計、実装したら、普及までさせないと努力が報われない
    - 専門チームでメンテするか、公的機関を使うか

そんなわけで

- 現在のプログラミング言語のトレンド
  - スクリプト言語の地位向上
    - Python, ~~Perl~~, Ruby, …
    - 今回の講義はこちらをにらんで行います。
  - Domain specific 言語の台頭
    - PHP, JavaScript, …
  - 標準的な言語に対するExtension
    - Fortran 2008（Array Extension), X10 (Java Extension), …

さらに

- プログラミング環境として
  - フレームワークの開発
  - インテリジェントなインターフェイスの開発
  - 生産性を高めるものとしての型体系の再流行
    - 動的型チェックでは大規模ソフトウェア開発に対応できないことが（ようやく）わかった

プログラミング言語の人気の推移（GitHub）

- 2019

1. Javascript
2. Python
3. Java
4. PHP
5. C#
6. C++
7. TypeScript
8. Shell
9. C
10. Ruby

- 2021

1. Javascript
2. Python
3. Java
4. Typescript
5. C#
6. PHP
7. C++
8. Shell
9. C
10. Ruby

こちらは学部生向けかな

- 古いし、間違いも多々あるけど
- 後半は読む必要なし
  （言い切ってみる）

この講義の目的は

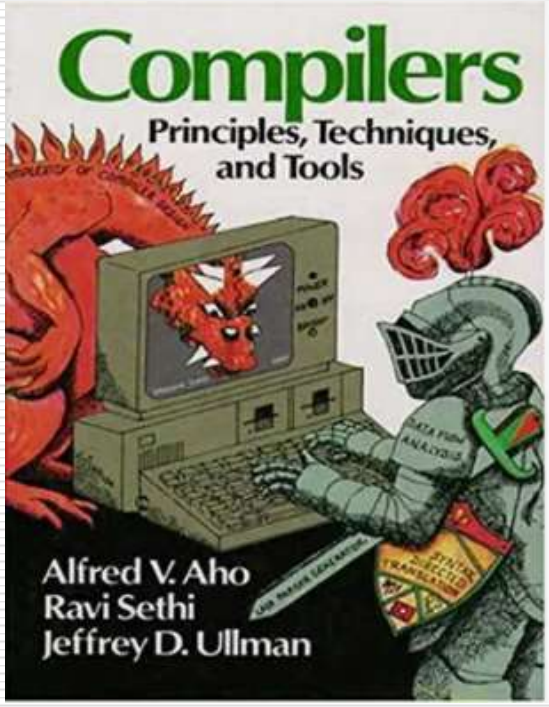
- スクリプト言語くらいは「ほしくなったら」負担を感じることなく「設計」くらいはできるようになること
- 手を動かしてプロトタイプくらいは自分で実装「できる気になる」こと
  - 上質のスクリプト言語は、優秀な実験器具と同じで生産性を著しく高めてくれる（多分）
  - 情報科学の分野に限らない。データ処理を計算機で行うところには必ずついてまわる

クラシックな話題…

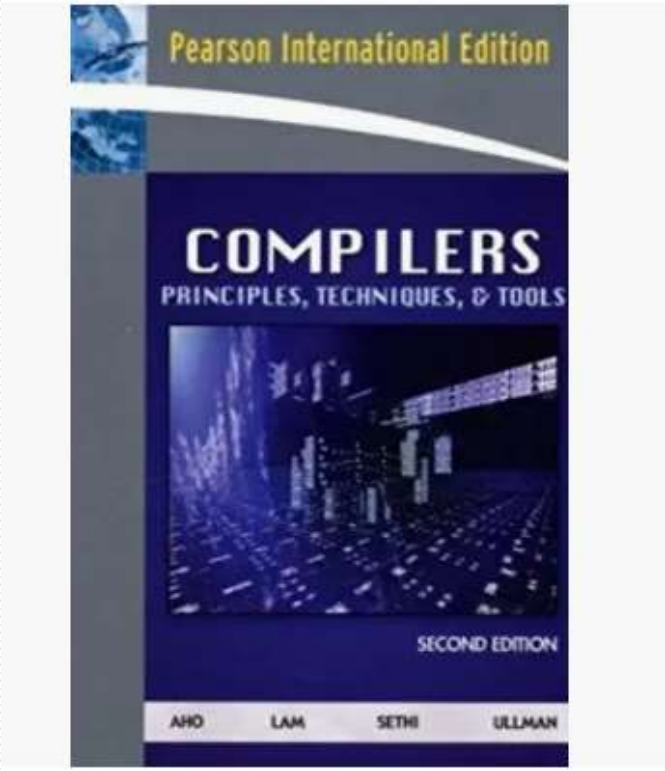
- 言語処理系の王道は昔も今も実は「最適化」
  - High Performance Computing
  - コンパイラによる最適化
  - 細かいパラメタのチューニングによる個別の最適化
- Pythonはこれをどこでしているか
  - Peephole.c → 上の意味では何もしてない…

最適化にどの程度ページを割いているか

- 1986年版　150/750
  （もはや入手困難）



- 2007年版 380/960



しかし

- 生産性が重視されるようになった
  - High Productivity Computing
  - プログラミングスタイル、開発環境、…
  - メモリ管理の自動化はもはや常識
- 生産性には「セキュリティに対する耐性」が含まれるようになった
  - 型の役割の見直し
  - CVE
  - セキュアコーディング(この話は、7月にやります)

超高級言語/IDE/Script言語

- 生産性とは何か、という話もありまして
  - 大規模プログラムに対する
    - バグフリーにするための言語サポート
    - Collaborationのためのデータ交換サポート
    - No codingのサポート　↓
- 超高級言語によるデータ処理のサポート
  - Matlab, Mathematica
- スクリプト言語
  - Agilityが最大の魅力
  - Perl, PHP, …

- IDE (Integrated Development Environment)
  - 特殊な開発環境に適応
    - 例：GPU向けのOpenCL
    - 生産性をあげるのが主目的
  - Intelligent Interface
    - Notebook (Jupiter etc.)
  - Framework
    - Django
    - …

その中でプログラミング言語とは

- 開発環境として、柔軟なものを提供すべきだ
  - Python
- バグがでにくいもの、デバッグがしやすいものを提供すべきだ
  - Typescript
- 性能は、他で求めればよい
  - 高性能ライブラリは、Cで書き、
  - APIを提供すればよい
    - Pytorchその他

- 誤解：Pythonは、機械学習向けのプログラミング言語

スクリプト言語

- データ処理量が爆発するにつれて、データ処理のための簡易言語を設計することがペイするようになりました
  - スクリプト言語の設計
  - Perl, PHP, …
- スクリプト言語は往々にして「いい加減なデザイン」に基づいています。
- スクリプト言語は、そのとっつきやすさから、ユーザが多くつくようになります。
- ユーザが多くなると、実装を再デザインして「まともな」プログラミング言語にすることがペイするようになってきます。

スクリプト言語(II)

- 「スクリプト言語」に求めるのは生産性
  - プラットフォーム独立性
  - 柔軟な型システムの提供
  - オブジェクトの簡便な管理
  - 管理された並列性の実現
  - …
- 速度は、高速ライブラリの提供で実現
  - 最低限の速度は、VMのISAで対応
  - C等とのインタフェース提供

型

- 現在、RUSTはどうしているのか
- 現在、Typescriptはどう扱われているのか
- 「強い型付け」は、(プログラミングではなく)プロジェクト管理をどうサポートできるのか
  - そもそもの話として、スクリプト言語は何を目的としてきたのか
    - 多倍長整数その他(Google Alexaが32ビット以上を扱えないという話が…)
    - 動的型付けに対するネガティブな評価
      - 大昔、LISPという言語がありまして…

（次回以降に話しますが）

- スクリプト言語の定義がどのようになされているか
  - Reference implementationとspecificationに関する誤解はほとんどのケースで絶望的なレベルに達しています
  - その他もろもろのカオス
- 標準的に定義されている「から」はやるというわけでもありませんが

そこで

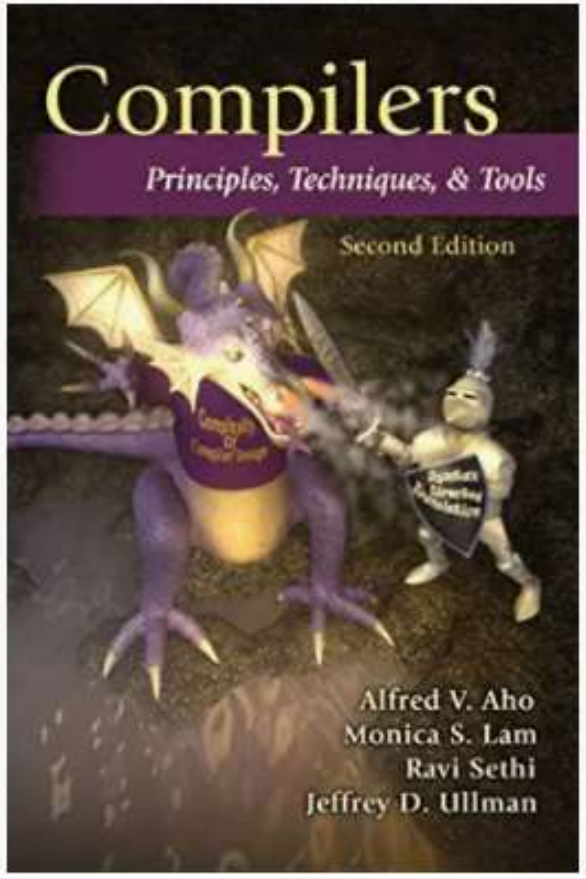
- プログラミング言語の設計の「作法」を覚えておくのは、悪くない
- 「よいデザイン」「よい実装」についてのstate of the artを知り、直観を養うことで、たとえばスクリプト言語のスタートアップを効率的にできる

- ＝＞この講義の目的

具体的にはどういう授業か(I)

- クラシックなコンパイラとはどういうものか？

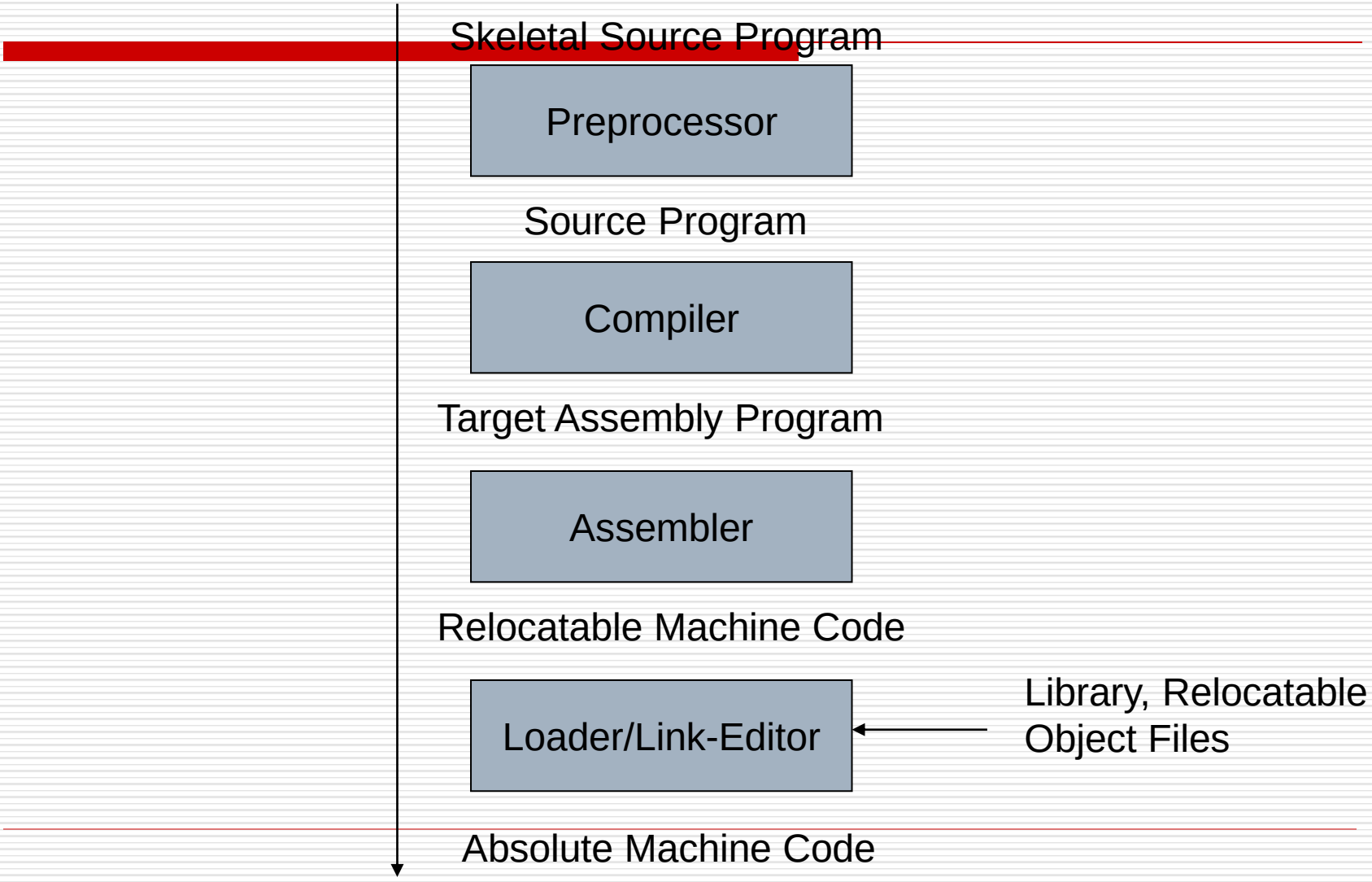
- 典型的な教科書
  Compilers
  Principles, Techniques, and Tools
  A. Aho et.al.
  ISBN 0321547985



クラシックなコンパイラとは

- GCC (Gnu Compiler Collection)
  - C、C++、Objective-C、Objective-C++、Fortran、Ada、Go、D
  - おかしいな、OpenJavaもあるはずなんだけどなぁ（挑発．．．）
  - さまざまなプラットフォーム用に、ネイティブコード（と1対1に対応するアセンブリコード）を出力する
  - （本当は）リンク時に備えて中間コード群を生成する（これはクラシックなのかどうなのか）

言語処理系(Ahoの前世紀の古い教科書)

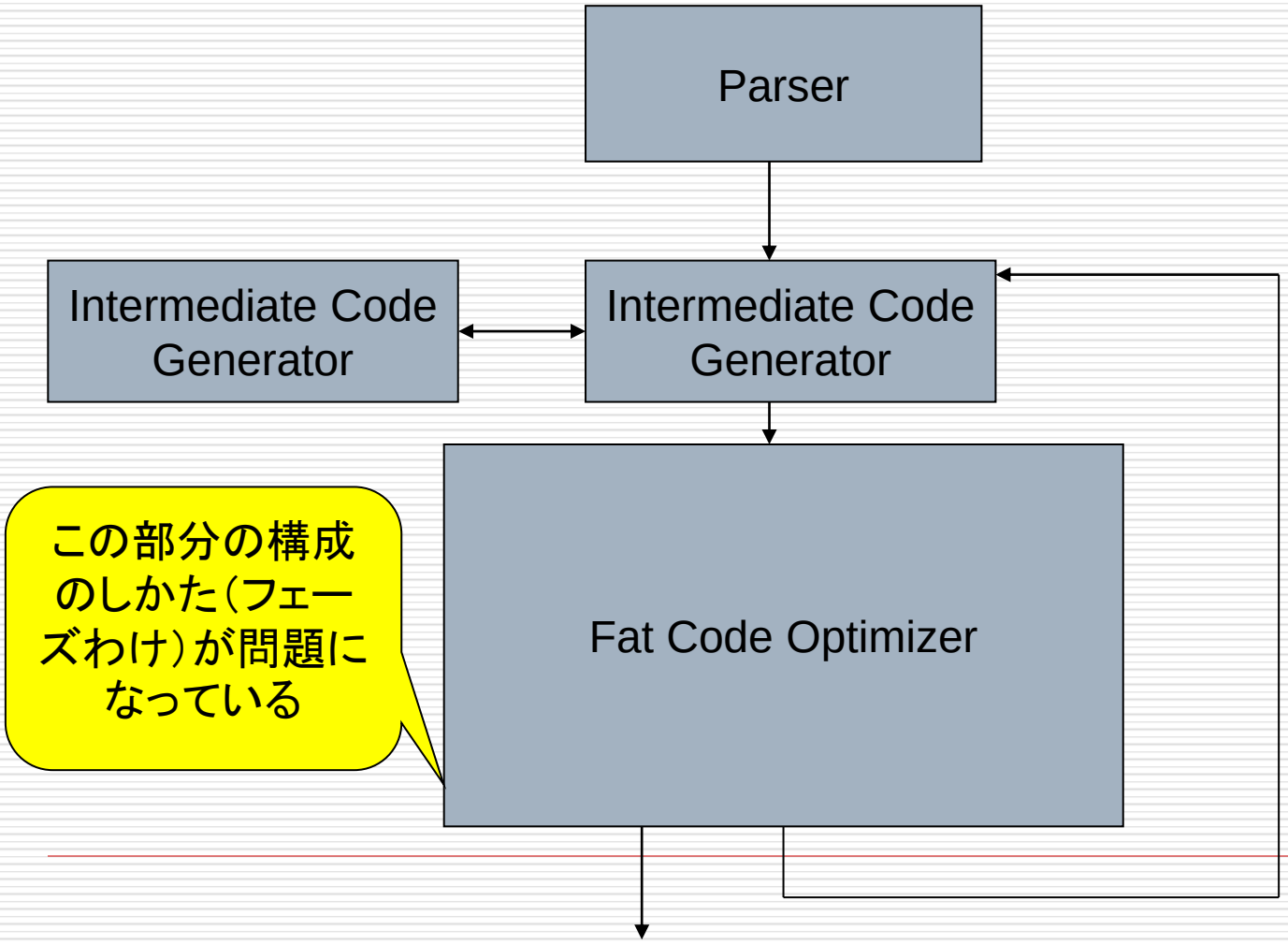


Modern Compiler Construction

- 言語処理系のクラシックな研究は「最適化」に集中しています。

- Syntax Analysis/Semantic Analysisについては自動化が進み、ここをまじめに論じる人はもはやいません
  - 知らなくて良いわけではない
  - 情報系の学部なら3年くらいの教材のはず
  - 一昔前までは大学院の入試によくでた

Modern Compiler Construction



実行環境に関する理解

- 最近はコード生成だけでなく、実行環境(VM)の重要性も認識されている
  - クラシックな教科書は、適当なマシンを選んでコード生成のターゲットにしていた
  - 今は、JVMをはじめとして、標準的なWORKING PLATFORMを考えることができる
  - よく知らないのですが、HW/SW codesignの典型例のクラシックな例としてCPU-Compilerが挙げられているようです

プログラムの実行環境としてのVM

- 古いScript言語は、ソースをパースした「source tree」をそのまま実行していました (source tree traversal)
  - Perl5はその代表例
- 実行環境がメモリ管理 （GC）、並列性管理を求められるようになると、VMを定義して、それをターゲットとする「コンパイラ」を作ることがはやりました
  - (Script言語ではないが)Java, すべての関数型言語
  - Python, Perl6その他

VMを論じ始めると…

- ISA
  - Stack Machine/Register Machine
  - Iteratorなどの「特殊」命令のサポート
- 並列性サポート
  - Frame設計
  - Thread/coroutine 等並列プリミティブの設計と実装
- メモリ管理
  - オブジェクト管理
  - GC

VMの設計思想

- スクリプト言語、特にオブジェクトを書けたり、実行時までデータ型が決まらなかったり、実行時のデータ型で処理が異なるようになったり、粒度の大きい命令（行列積など）が単独命令で実行できるような言語では
  - 実行時の型とデータの処理
  - 粒度の大きい命令の処理
  - オブジェクトの生成と管理
  - GC
- などの命令セットの設計が問題（CPUのISAとは独立に考えてよい）

- Java　VM
  - 標準的（squareな感じ）
- Python VM
  - こっちは結構フリーダム
  - →どうなっているか、授業で触れます

- VMの設計は楽しい（自分が神になったような…）

今回は1回目ですから

- 具体的なことは話しませんが、
- VMの設計は今世紀の初めくらいにさんざん議論されて、いろいろな方法も提案されました
  - JIT
  - RPython VM

- でも、まぁ、そんなことで、具体的な言語処理系のパス構築の話をすることにしましょう

Parsing (I)

- ParsingをSyntax AnalysisとSemantic Analysisにわけて、それぞれに効率的な手法、自動化の手法を追求したのは1970年代の話です。
- LL(1)やLALRといった言語のクラスはParsingを楽にできる観点からCFGの部分クラスとして研究されました。(Chomskyもびっくり)

Parsing(II)

- プログラミング言語を定義するにはそれほど複雑な文法は必要ないというのが皆の共通の理解でした。
- C++がその常識に挑戦しました（文法のセンスを無視して機能を詰め込みすぎた結果のような気がします）
- 現在、C++は規格自体がメルトダウンしはじめているような感じがします
- C++の文法は(LALR＋アクション)ではかけないことがわかっています。Parsingは難しい

Parsing (III)

- 今はいろいろあってだな （PEG等）、しかし

- ParsingはCompilerでの中心的な話題からは引退しました。
- この講義ではLL(1), LL(*)とかLALRについての具体的な説明をすることはしません
  - 繰り返しになりますが、情報系の学科の出身なら、すでに学んだはず（覚えているかどうかは…）

- でも、Parserをかけないと、自分で言語処理系を書けませんから、たとえば「打倒PHP」とか、「打倒Ruby」と考える人はParserの書き方は学習しましょう

Parsing (IV)

Parseなんか、ツールを使えば楽にできます

「楽にできるようなツール」もいろいろでてきました

Pythonなんかは、文法を制限してParsingに凝らないようにしました

しかし、そんなこと言わずに（特にITで生きていく気がなくても）

XMLのパースくらいはできるようになりましょう

- Regular Expressionとその受理オートマトンを含む (DTDの処理に必要)

- XMLの定義が読めるようになりましょう
  - BNF記法
  - 定義はここです
    http://www.w3.org/TR/2006/REC-xml11-20060816/

閑話休題

- 少し、個別の話題に足をつっこみすぎました。
- プログラミング言語とそれをとりまく環境の現状についての話に戻ります

プログラミングの変遷

- こんなことを話すこと自体老害！
- プログラミングの目的の変遷
- プログラミングの価値の変遷
- 目的と価値が決まれば、プログラムを何を使って表現するかの手段（プログラミング言語）の方向が決まる

今、もっとも需要があるプログラミング

- 今、もっとも需要のあるのはJavaでしょうか（Android向けのアプリをつくらなきゃ）
- それとも、機械学習系でPythonでしょうか
- でも、それと同等に需要のあるのはWeb関係
  - Webブラウザの動作記述
  - Webサーバの動作記述
    - テキストを柔軟に処理できるライブラリを自由に呼び出せる
    - 通常のプログラミングと同じ制御構造が使える
    - …
  - JAVASCRIPT, PHP, …

スクリプト言語

- Ruby, Perl, PHP, JavaScript, Python, …
- 言語仕様は結構シンプル
  - 自分で言語を設計できる
- 自分で実行環境を持つ
- ソース言語→VMのマシンコード→VM上での実行　といったものが多い
- 結構速いが、「遅くない」といった程度。最適化への関心はそれほど高くない（やることがなくなれば、当然ターゲットとして浮上する）
- 記述性やデータ変換の柔軟性にフォーカス

プログラミングの目的の変遷

- システムプログラミングの需要
  - コンピュータのためのプログラミング
  - メモリシステムのモデル化などの成果
  - ネットワークプログラミングはここに入るだろう
- 分散環境とクラウド上でのプログラミングの隆盛
  - ネットワークプログラミングの上のレイヤ
  - Embedded Systemとともに有力な場所
  - ターゲットの激変
  - Web環境でのプログラミング
    - サービスの概念　→　SOA
    - コードの移動
    - HTML,XML（数値や文字列だけではなく、より大きい文書やサービスを扱うプログラム）
- 実は、王道は昔から数値計算なのですが…

プログラミングの目的の変遷

- オブジェクトの発明
  - Alan Kay 1970ころから（Smalltalk 80）
  - 処理のパッケージ化とAPIの定義による抽象化
- より複雑なプログラミングへの対応
  - 複雑なオブジェクトへ
  - 複雑な継承と複雑なパターンへ
- 今では、ほとんどのプログラミング言語が「オブジェクト」の概念を言語内にもっています(Cは別)

オブジェクトへの反省

- プログラムの設計はしやすくなった
- 仕様の拡張に対応しずらい
- 新しい概念はないか…

プログラミングの価値の変遷

- 高速性から＋正しさ、＋生産性へ

- 高速性は常に「善」だった
  - 高速実行のためのコンピュータ
  - 高速実行のためのアルゴリズム
  - 高速実行のためのコンパイラ

  - 互いに影響しあう

高速実行のためのコンパイラ

- プログラムの可読性、移植性を高めるには、「プログラムは素直に書く」ことが基本

（それ以前に速いアルゴリズムが必須）

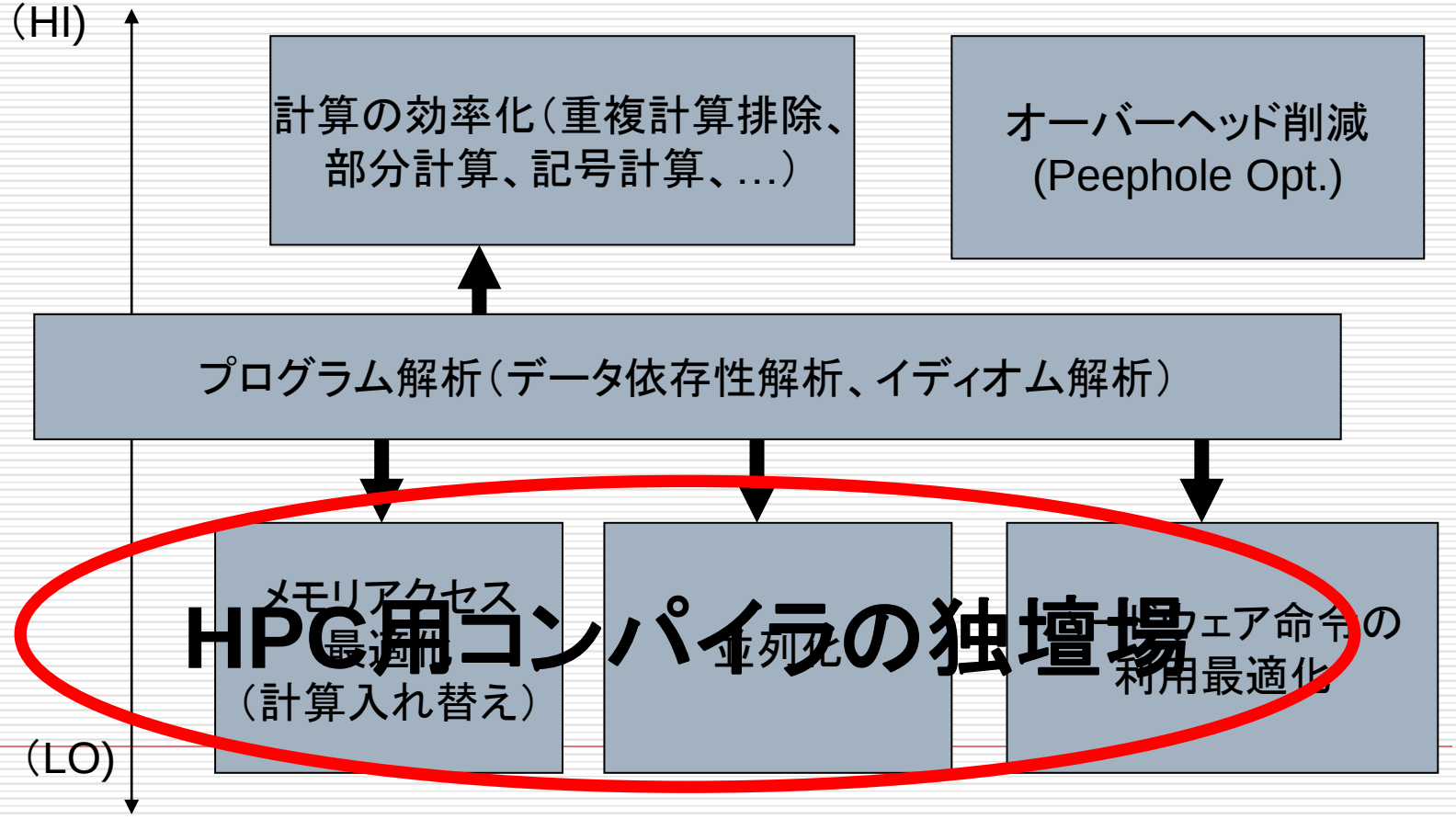
  - 「最適化コンパイラ」は、高速化のためにさまざまな最適化を行なう
    - 並列化
    - メモリ最適化
    - イディオム認識

コンパイラ最適化の機能と限界

- コンパイラ最適化は大きく進歩を見せ、現在ではソースコードからオブジェクトコードを類推することは困難になっているほどです。
  - どのような最適化が適用されたのか一目ではわからない
  - ソースコードをチューニングして、最適化と張り合おうとするのは愚の骨頂です
- でも、最適化は魔法ではありません
  - プログラム（静的）解析に基づくプログラム変換
  - アルゴリズムを解析してプログラム変換を行なうのは普通最適化といわない
  - 最適化　⊂　チューニング

高速化のための最適化

- 現在の最適化の流れ



HPC用コンパイラの独壇場

高速化のための最適化

- HPC用の最適化は魅力的なテーマでした。
- 1980年代から2000年代前半にかけてデータ依存性解析に基づいたメモリアクセス最適化や並列性の抽出がさかんに研究されました。

- この講義では残念ながらこれをあまり扱いません。興味のある人は自習してください

プログラミングの価値の変遷

- 正しさへの要求の強まり
  - 分散環境では、データが外から飛んでくる（悪意を持ってデータを流し込んできたら…）
  - 分散環境では、コードが外から飛んでくる（悪意を持ってコードを流し込んできたら…）
  - セキュリティに関する要求の高まり
  - そもそも、最適化ルーチンは正しく動作しているのか？
- プログラムの複雑さのアップ
  - 人間が人手でチェックするには複雑になりすぎた
  - 個々の最適化の正しさを人間が証明することは大変
- プログラムの生産性アップへの要求
  - 大規模なプログラムを効率よく開発するための言語でのサポート、ツールでのサポートの要求

正しさへの要求 (incl. セキュリティ)

- この講義ではこのトピックを最後にちょっとだけ掘り下げます。以下のことを考慮することの重要性はますます高まっています。

- 言語処理系の特に最適化が間違ったコードを生成しないことの保証はどこに？
- 悪意をプログラミングできないようなプログラミング言語とは？
- コードが「正しい」ことを証明しやすいプログラミング言語とは？
  - JAVAでのポインタの追放
  - 強力な型システムの導入
  - コンパイル時・実行時でのコードチェック

プログラミング言語の変遷

- プログラミングの概念の変遷（さっきやった）
  - 数値計算以外を対象に
- オブジェクトの登場（さっきやった）
- 「生産性」が評価軸に
  - プログラムのエラー（いろいろなレベル）をコンパイル時にチェックしてくれないか
  - 少量のコーディングですまないか
  - 「自然に」コーディングできないか
    ＝　High Level Programming
  - 一度書いたコードを使いまわしできないか
  - 一度書いたコードを他のマシンでも使えないか

プログラミング言語の変遷

- 現在の主流

- 高いレベルの概念を直接扱えるように
  - アプリケーション指向超高級言語
- 型の登場
  - データ型と関数プロトタイプ
- 再利用への関心
  - モジュール、ライブラリ、APIの言語による支援
- 分厚いライブラリとパターンで援護されたプログラミング （プログラム何行…ということが無意味になっている）

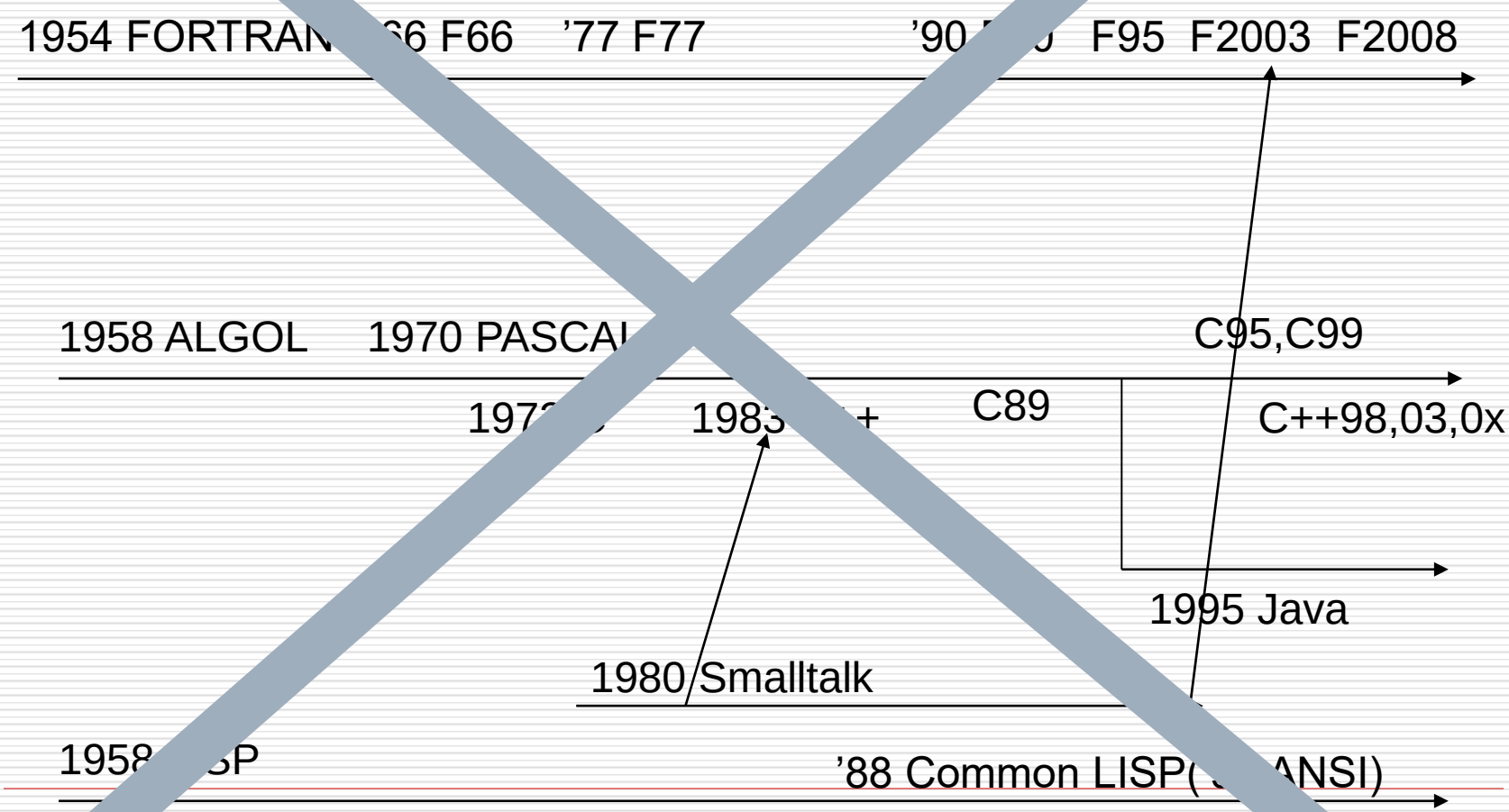
プログラミング言語の変遷

- でも、マシンが高級になるわけではない
- プログラムと物理の乖離が大きくなっている
  一方
- マシンが速くなっているから、速度よりも生産性を意識するならば、共通のVMのAPIをひとつ切っておけば楽ちんになる時代とも言える
- ここらへんのVMまで含めた言語処理系のデザインが重要になってくる
- （言語処理系）のデザイン

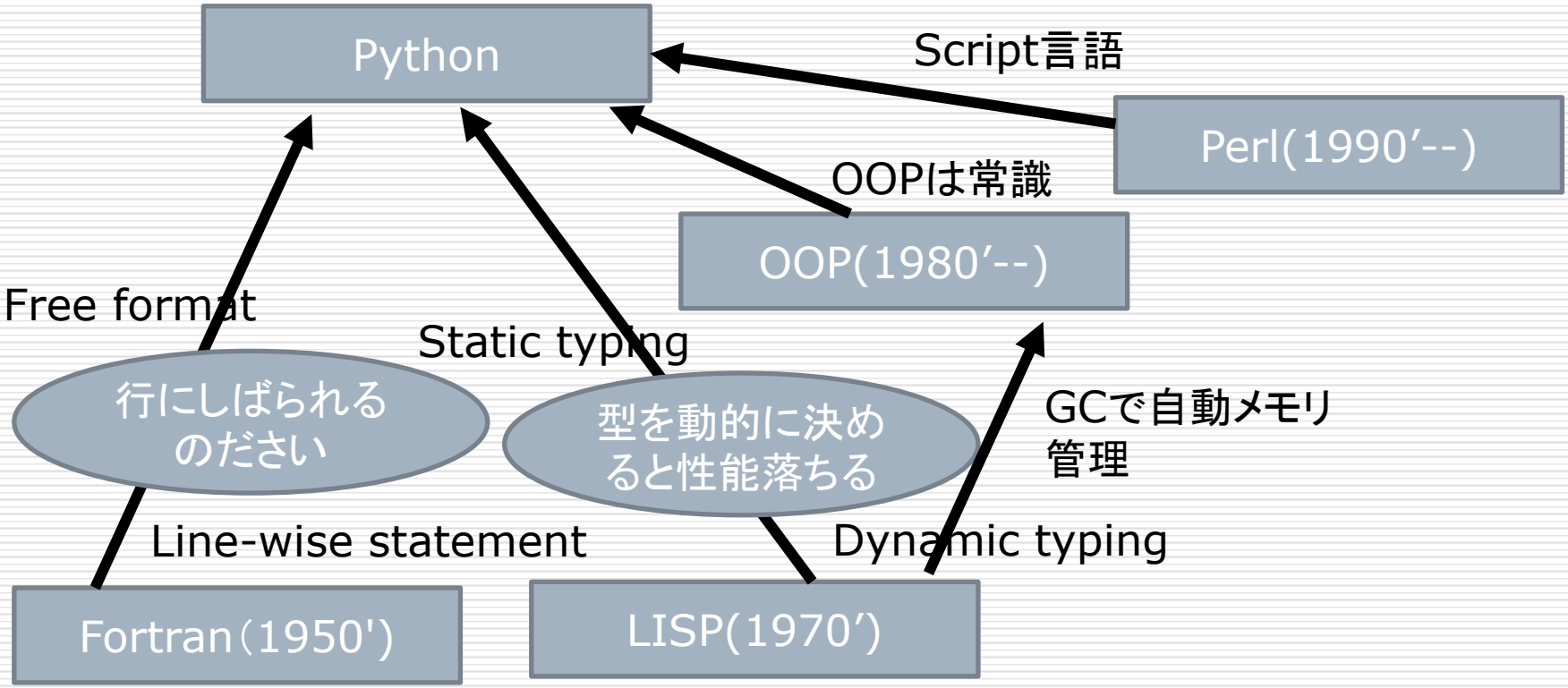
プログラミング言語の歴史

- Fortran, Algol系
- 規格、言語仕様の重要性の認識
- スクリプト言語
- JAVAの登場
- VMの登場

Programming Languages at a Glance
（年寄りになるほどこの手の図を出したがる）



Implementationの視点から



Fortranの登場

- 高級言語の概念の提示
- BNFを使った定義
- 数式（変数を使った数学の式）を直接表現することに主眼があった
- Assembly言語（GOTOが主たる実行制御方式）＋数式

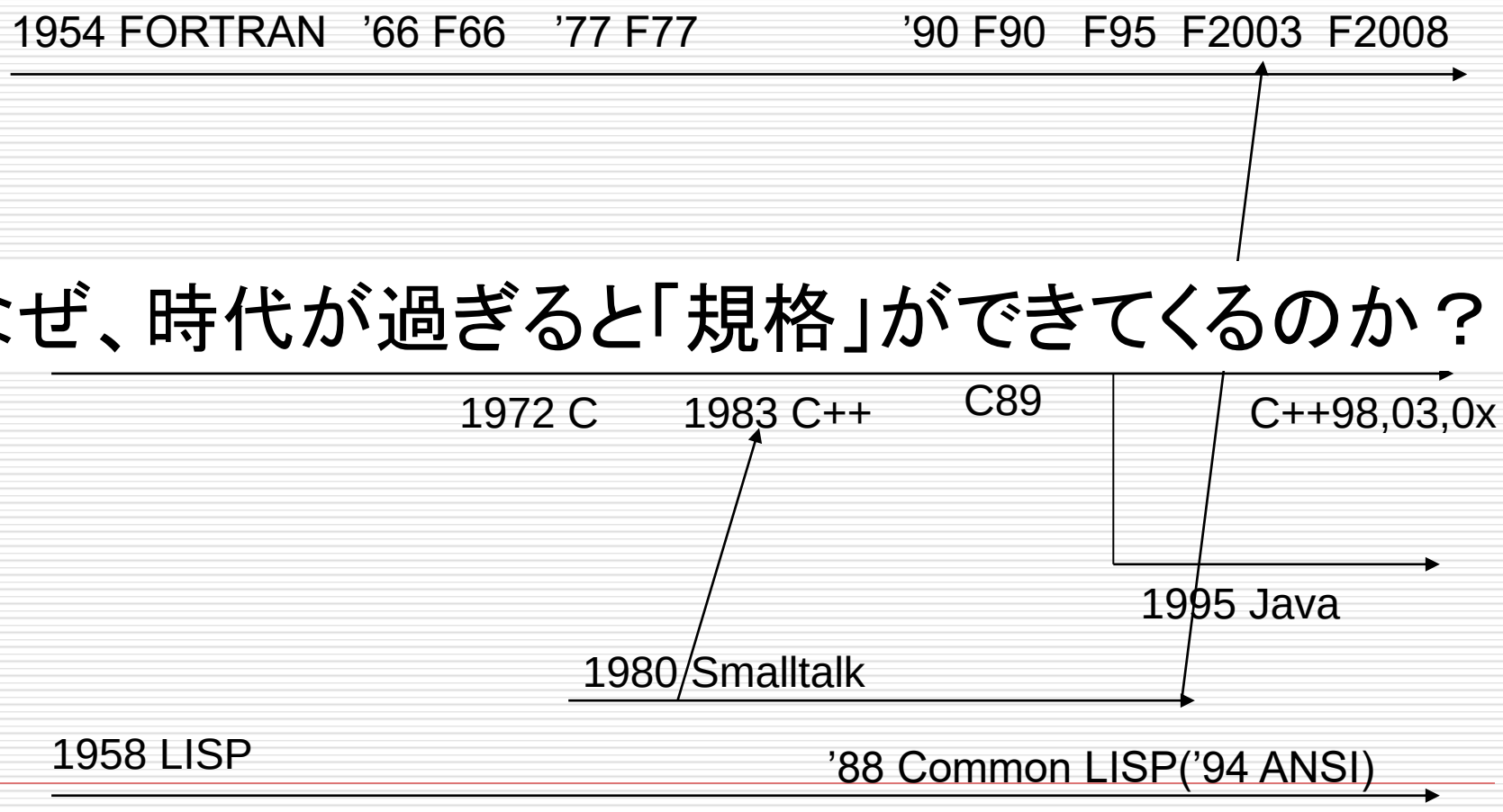
- 言語規格を制定するときに大きな議論の場を提供した

現在のプログラミング言語の流れ

- オブジェクトはあたりまえ
- 並列性サポート、GCもついてくる

- 総合的なプログラミング環境の提供
  - プログラミング方法論の拡張
    - テンプレート、継承、仮想関数
  - モジュールなどの提供
    - Module, namespace
  - ぶあついライブラリ群の提供
    - パフォーマンスはここで稼ぐ（PythonのMLライブラリ）

最初の表に戻る


1954 FORTRAN
’66 F66
’77 F77
’90 F90
F95
F2003
F2008
なぜ、時代が過ぎると「規格」ができてくるのか？
1972 C
1983 C++
C89
C++98,03,0x
1995 Java
1980 Smalltalk
1958 LISP
’88 Common LISP(’94 ANSI)

プログラミング言語の規格(I)

- 初期のFortran
  - IBM Proprietary
  - Fortranが「使えるソフト」としてデファクトに
  - 各メーカがこぞってサポートを開始
  - 実装ごとに言語仕様を拡張 （そのうちのいくつかはよいアイデアとして他も採用）
  - 「Fortranプログラム」がコンパイルできるシステムとできないシステムがでてきた
- 規格の重要性の認識
  - ANSI (ISO)を主戦場とするか（C#）
  - 仲間を作って管理するか(各種コンソーシアム)
  - 一社（一者）で厳しく管理するか(Ada, Java)

プログラミング言語の規格(II)

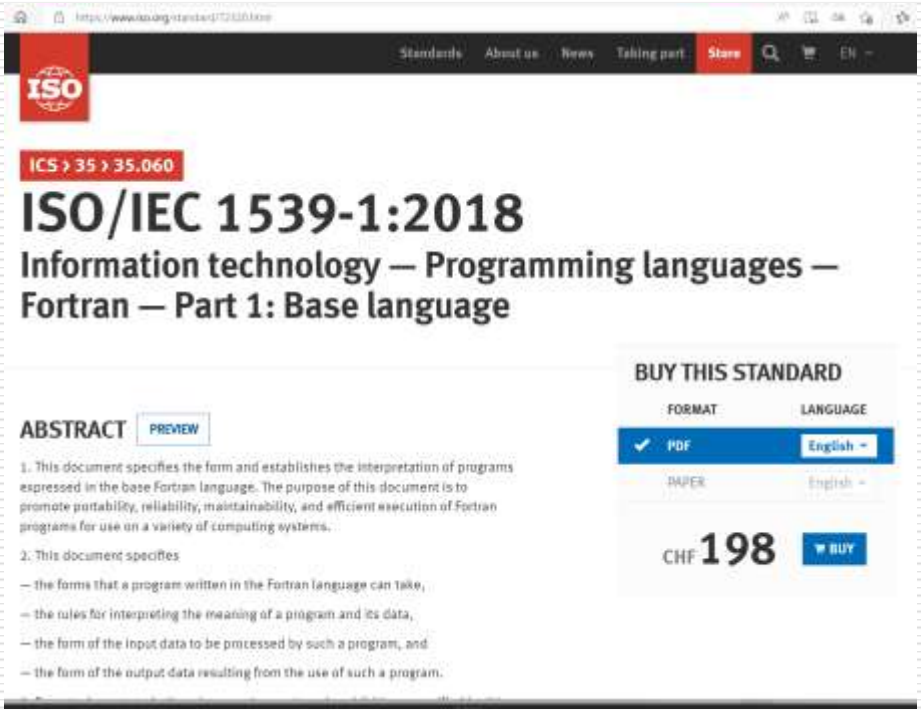
- 規格の重要性の認識
- 規格を形式的に記述する技術の向上
  - SyntaxとSemanticsの分離
  - Syntaxは形式言語で(BNF)
  - Syntaxの足りないところは、BNFに対する注釈で
  - Semanticsはプログラムの実行の意味を決める
  - Semanticsは自然言語で記述

プログラミング言語の規格(III)

- Semanticsを記述する技術の向上が、言語の規格を厳格に定義することに大きく貢献した
  - 残念ながら、現在特定の形式主義に基づいたSemanticsの定義は行なわれていない（W3で無駄な試みがいくつか…）
  - Semanticsは自然言語で厳格に定義できる（数学が自然言語で展開されていることを考えればこれは驚くに足りない）
  - 必要だったのは、「形式主義」の理解と、それを遵守する能力（現在ではSemanticsを定める人間に大きな負担がかかっている）
- Fortranの規格を読んでみようか

プログラミング言語の規格

- 国際・国内機関
  - ISO
  - JIS
- コンソーシアム
  - IETF
  - W3
- 上2つは戦場です
- その他
  - 業界ガリバーが保守する規格



規格を決める場は

- 「規格」を決める場（規格策定委員会）は、戦いの場です
  - 自分の実装の特徴を取り込ませることで、他社より優位に立つことを目指すことは普通に行われる
  - 技術的な優位性を主張するのは当たり前だが、それだけではない…
  - CrayのCoarray (Fortran)など
- 規格そのものがつぶされることもある
  - ISOにおけるJavaのfast track入りを＊＊が阻止
  - ECMAScript (Javascript)のISO規格改定放棄（2008）
    - ECMAScriptはいつも最近もやらかしているようで…

そんなことに嫌気がさす場合は

- 規格(JIS, ISO, IEC, ...)を定めることで、複数の団体の実装にお墨付きを与えることができるが
  - 規格になれば偉いというわけでもない
  - それは技術の話ではない
  - 互換性はビジネスの話
- そこで、きちんとした開発グループを決めてそこでメンテする方法が再び見直されている(スポンサーも付けば万々歳)。
  - Python
  - Perl
  - RubyはJISになりました(2011)が、それが正しい決定だったかどうかはよくわからない

この授業のテーマ(ブレークダウン)

- 「プログラミング環境」とは何か？新しい環境の考察
- プログラミング言語はどう設計すればよいのか？
  - 言語自身(型、名前空間、...)
  - 実行環境(VM)
- 性能向上のためになにをすればよいのか？

授業のテーマ(ブレークダウン)

- われわれが注意すべき「オープンな規格」とはなにか
  - プログラミング言語の規格を書けるようになるか？
- われわれが使えるツールとしては何があるのか？