

Dijkstra, E.W., Lamport, L., et al.: On-the-Fly Garbage Collection: An Exercise in Cooperation

CACM Vol.21, No.11 (Nov. 1978), pp.966-975

「ダイクストラのアルゴリズム」として知られる並列ごみ集めアルゴリズムの原典である。論文題名のon-the-flyには、「飛行中に」や「急いで」などの意味もあるが、ここでは「中断なしに」の意味である。通常のごみ集め処理は、プログラムの実行を中断して、ヒープ中の不要データを回収した後、プログラムの実行を再開する。Dijkstraらのアルゴリズムは、ごみ集め専用のプロセッサを使うことによって、プログラムの実行と並行してごみ集めを行う。

専用プロセッサを使った並列ごみ集めとしては、Steeleによるアルゴリズム¹⁾がすでに知られていた。これは、実際の言語処理系への応用を強く意識したものであった。これに対してDijkstraらの論文は、副題にもあるように、協調計算アルゴリズムの設計と証明のためのケーススタディとしての性格が強い。このために、アルゴリズム自体はSteeleのものに似ているが、

- データ処理のモデルを極力単純化し、
- 排他制御の粒度を、データ処理の基本操作に下げ、
- インフォーマルながら正しさを証明した

という点において優れている。この3点が実にうまく処理された結果、分かりやすく、相互排除のオーバーヘッドが小さく、かつ信頼できるアルゴリズムとして認識されている。

その反面、実際の処理系に適用するためには困難が伴った。筆者（湯浅）がこの論文に出会ったのは、今から25年ほど前、Wnnという仮名漢字変換システムのプロトタイプを、KCL (Kyoto Common Lisp) 上で開発していたころである。十万語の日本語オンライン辞書をLispのS式としてヒープにロードしてテストを繰り返していた。当時の計算機性能やメモリ量の制約から、いったんごみ集めが始まると、何時間ものあいだテストが中断された。テストの合間に少しずつごみ集め処理を行う方法がないものかと文献を探しているうちに、Dijkstraらの論文に出会ったのである。さっそくKCLへの実装を検討してみたが、オーバーヘッドが大きすぎることに、処理系の変更箇所が膨大になることが判明したので、実装は断念した。

あとで知ったことだが、Dijkstraらのアルゴリズムは、上記のような優れた特徴を備えているものの、実装不可能 (unimplementable) というのが一般的な意見のようであった。Dijkstraら自身も、言語処理系に直ちに適用可能なアルゴリズムを提案することを主眼としていたわけではなさそうである。実際、「巨大な共有データ空間を頻繁に操作するにもかかわらず、相互作用の小さい協調計算の例題として」このアルゴリズムを開発したと書いている。にもかかわらず、現在でも「ダイクストラのアルゴリズム」として知られているのは、この論文とそのアルゴリズムが、のちの並列ごみ集めの研究に与えた影響が大きいためである。

まず、このアルゴリズムを実装するために、種々の実装技術が開発されている。実装上の最大の障壁は、バリアの設定に伴う実行時オーバーヘッドと言語処理系改造のコストであった。近年は、OSの提供するダーティビットを駆使したり、スタックスキャンを繰り返すなどの手法を採用することにより、実用に耐えられるレベルにまで達している。また、他のさまざまなアルゴリズムを考案する基礎ともなっている。筆者（湯浅）が考案したスナップショット方式ごみ集め²⁾もその1つである。KCLへの実装を断念した経験を活かして、Dijkstraらのものとは異なった発想のごみ集め方式を思い付くに至った。

さらに、Dijkstraらの論文で採用された証明方法、特にデータオブジェクトの状態を色 (Dijkstraたちの場合は3色) で区別して、基本データ操作の前後で常に成立しているinvariantを簡明に記述する方法は、同種のアルゴリズムのほとんどすべての正当性を証明するために利用されている。

(平成14年6月16日受付)

参考文献

- 1) Steele, G.L., Jr.: Multiprocessing Compactifying Garbage Collection, CACM Vol.18, No.9 (Sep. 1975), pp.495-508.
- 2) Yuasa, T.: Real-time Garbage Collection on General-purpose Machines, J. Systems and Software, Vol.11, No.3 (Mar. 1990), pp.181-198.

湯浅太一 / 京都大学
yuasa@kuis.kyoto-u.ac.jp

