述は省略する．そこでは各データがすべての制約式の係数や値を保持する点が Knapsack 問題のキャスタとはことなるが，他はかわらない．

3. 局所最大点からの脱出法

前記のキャスタは単純なやまのぼり法を実行するため，容易に局所最大点におちいる．この問題を解決するためにより知的な反応規則をあたえることもできるが，単純なキャスタをつかって機械的によりよい解をもとめるため，2 つの方法を試行した．この章で各方法を説明し，次章で実験結果をしめす．

3.1 シミュレーテッド・アニーリング

第 1 の方法はシミュレーテッド・アニーリング (SA) である．これまでの CCM においては局所秩序度が減少するときには反応規則を適用しなかったが，このときも適当な確率で適用するようにする．すなわち，インスタンス秩序度の差と反応規則の適用確率との関係を，ボルツマンマシンにならって，図 2 に例示した Sigmoid 関数 ($f(x) = 1/(1+e^{-x/T})$) とする．

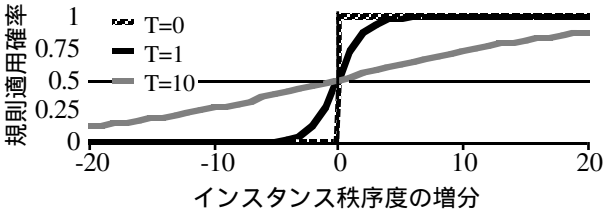

図 2　インスタンス秩序度と規則適用確率との関係

3.2 反応規則の合成

第 2 の方法である反応規則の合成とは，反応規則を連続して適用するのと等価な反応規則をつくることである．合成しても適用されたときの結果はかわらないが，合成規則をつかえばもとの反応規則の連続適用途中の状態でのインスタンス秩序度の値を計算しないため，秩序度の谷をこえることができる．

前記の Knapsack 問題の反応規則を l 回合成するということは，l 個の変数値を一度に変更することを意味する．指数分布にちかい乱数によって決定した合成回数の上限までの範囲で，インスタンス秩序度が増加するような合成回数を動的に決定している．

4. 実測結果

制約条件数 m は 10 で固定し，$n = 10, 20, 30, 40$ のばあいについてランダムに各 100 題の問題をつくり，各問題を 5 ~ 16 回実行した結果をしめす．なお，比較のための最適解は分枝限定法によってもとめた．

(1) 単純な方法 (第 2 章の方法)：$n = 10$ のとき最適解がもとめられた確率 (頻度) は1.2 % だった．$n \geq 20$ のときはまったく最適解がもとめられなかった．

(2) SA をつかう方法：適当な温度スケジュリングにより $n = 10$ では最適解が 42 % の確率でもとめられた．しかし $n \geq 20$ では温度を非常にゆっくり下降させてもまったく最適解はもとめられなかった．

(3) 反応規則の合成をつかう方法：実験したすべての n の値において 37 % 以上の頻度で最適解がもとめられた．図 3 の各折れ線の左端の y 座標が 1 回の試行で最適解がもとまる確率である．この図はさらに 2 ~ 16 回計算を反復して最良の解をとったときにそれが最適である確率と，それぞれの計算に必要な CPU 時間の総計とをしめしている．

(4) 反応規則の合成と SA の併用：これらの方法を併用しても，前者だけをつかう方法と比較して最適解がもとまる確率に有意な差はみられなかった．

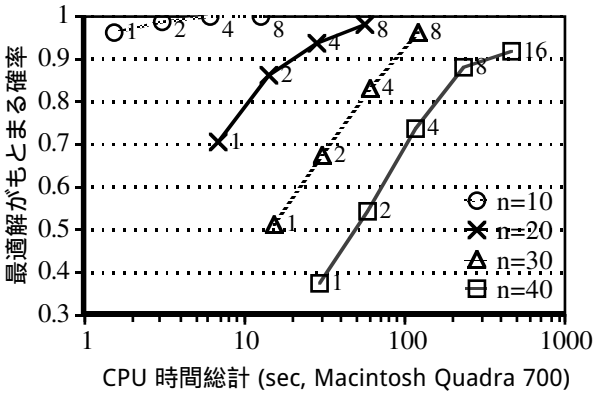

図 3　反応規則の合成をつかう方法の実測結果

5. 結論

CCM にもとづいて 0–1 整数計画法をとく単純なキャスタをそのままつかうか SA をつかうかしても，$n \geq 20$ ではよい近似解はもとめられなかった．しかし，規則の合成によって $n = 40$ のときも 37 % 以上の確率で最適解がもとめられた．この実験ではユーザレベルで規則の合成を記述したが，0–1 整数計画問題に関するかぎりはその自動化は容易であり，そうすれば非常に単純な反応規則と局所秩序度を記述するだけで高確率で最適解がもとまるようになる．

参考文献

[Kan 92] 金田　泰：自己組織系としての計算システム — ソフトウェア研究への 2 つの提案 —，*夏のプログラミング・シンポジウム報告集*，1992.

[Kan 93] 金田　泰，廣川 真男：プロダクション規則と局所評価関数による制約充足問題の解法，*情報処理学会記号処理研究会*，1993.3.

[Iba 93] 茨木 俊秀：離散最適化法とアルゴリズム，*岩波講座 応用数学 [方法 8]*，岩波書店，1993.