

木構造に基づく認知的音楽理論とその展開

松原 正樹^{1,a)}

概要：音楽聴取のモデル化を目指した認知的音楽理論のうち階層的な木構造を用いた音楽表象のモデル化の代表格である GTTM (Generative Theory of Tonal Music) について解説する。GTTM を計算機上へ実装するための数理モデル化、類似度の算出やメロディモーフィングといった計算論的応用に関する研究の紹介を行う。最後に今後の研究課題について述べる。

1. 認知的音楽理論と伝統的音楽理論

認知的音楽理論とは人間が音楽を聴く認知過程のモデル化を目指した理論である [41]。これに対し、和声学、対位法、楽式論などの伝統的な意味での音楽理論は作品を分析し理解することを通じて新しい曲を作るための分析方法論であった。どちらも聴くことを含んだ音楽理論であるが、認知的音楽理論が聴取に特化している背景として、もともとは作曲・演奏・聴取の3つの役割を同一人物が担っていた [38] のが、役割が次第に分かれて聴衆が誕生し、音楽を聴くことに焦点が当たるようになったこと [39] と、19世紀後半から20世紀前半にかけての学問が人間の知覚や心理を対象とするようになったことがマッチしたからであろう。20世紀初めに提唱されたシェンカー理論 [30] を皮切りに、調性音楽の内的表象の研究は盛んに行われ、リズム・旋律・楽曲構造と類似性・音楽と情動 [2], [3], [18], [23], [25], [32] など対象は多岐に渡り、計算機科学の発展に伴って現在でも研究されている [27], [28], [35]。

本稿では、階層的な木構造に基づく認知的音楽理論の代表格である GTTM (Generative Theory of Tonal Music) [18] を焦点に解説を行う。

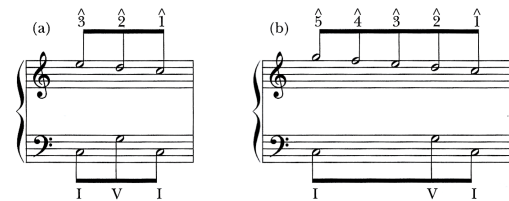


図1 シェンカー理論における基本構造 ([1], p.353)

2. 木構造に基づく認知的音楽理論

背景：シェンカーによる簡約仮説と延長

GTTM の著者が影響を受けたとして挙げられている理論が、音楽に構造レベルの概念を初めて導入したシェンカー理論 [30] である。シェンカーは音楽を階層的に捉えることで、より簡単な構造に簡約できるという簡約仮説を提唱した。簡約とは段階的に重要な音を残し重要でない音を削除することで、その楽曲の潜在的な基本構造 (Ursatz) を得るプロセスである (図1)。そしてどのような曲も簡約を繰り返すと基本構造が得られるとした。またシェンカーは分析の核となる延長 (Prolongation) という概念を導入した (例えばある楽音が鳴るとその後しばらくの間その音は内的表象として残り、その後の音型や進行に作用する現象のこと)。

2.1 GTTM : 木構造に基づく楽曲分析

GTTM は調性音楽における聴取者の認知的様相を形式的に記述するための理論である。シェン

¹ 筑波大学図書館情報メディア系
茨城県つくば市春日 1-2

^{a)} masaki@slis.tsukuba.ac.jp



図2 GTTM タイムスパン木による階層的な簡約例 ([18], p.132 より抜粋) J.S. バッハ BWV244 マタイ受難曲より「血潮したたる主の御頭」冒頭

カーの簡約仮説に基づいた階層的な構造分析が特徴であるが、木構造を用いている点が大きく異なる。これは言語学の生成文法理論^{*1}の影響であろう。

GTTM はグルーピング構造解析、拍節構造解析、タイムスパン解析、延長解析の4つのサブ理論からなる。旋律の区切りを階層的に表現するグルーピング構造とリズムやアクセントを表現する拍節構造をもとに、ある旋律や和声を本質的な部分と装飾的な部分とに階層的に簡約化することで、タイムスパン木と呼ばれる木構造を獲得する(タイムスパン解析)(図2)。このプロセスは主にボトムアップに行われるが、和声の進行やカデンツを考慮する際にトップダウンに行われる。そして、タイムスパン木をもとに和声進行の緊張と弛緩関係をトップダウンに分析し二分木を求める(延長簡約)。各々のサブ理論は構文規則(WFR)と選好規則(PR)から構成される^{*2}。PRはWFRと違い、それぞれの局所的なルールが競合することもあり全体のバランスや曲の和声進行を考慮して決定する大局的なルールも存在する。加えてPRの判断基準が曖昧なことから計算機上への実装が難しいという問題がある。

3. GTTM が与えた影響

GTTM が後世の研究に与えた影響として下記の4つが挙げられる [14] : (1) 認知的リアリティの実証, (2) 理論の拡張, ルールの定量化, (3) 計算機上への実装, (4) 計算論的応用。以下に順に紹介する。

^{*1} 提唱者のチョムスキーはジャッケンドフの師匠

^{*2} 詳しいルールは原著 [18] または日本語であれば [40], 6章を参照されたい

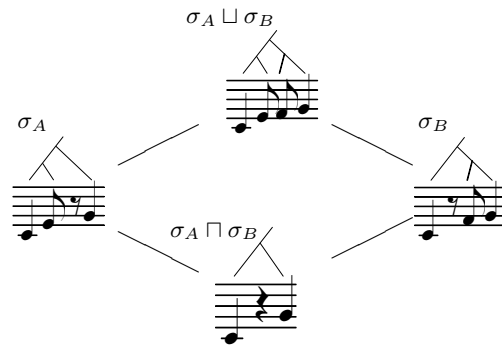


図3 タイムスパン木に対する join, meet 演算 [34], p.7

3.1 認知的リアリティの実証

音楽の内的表象が階層的な木構造であるという仮定は認知心理学をベースにした聴取実験によって検証されている。木構造に基づいて簡約化された旋律を聴取した際に元の旋律の同定が可能であれば認知的リアリティが認められモデルの妥当性が示唆される [4], [31]。

3.2 理論の拡張, ルールの定量化

GTTM の発案者のレアダール自身も楽音と楽音の距離を定義し GTTM を拡張している [17] ように、数多くの改良案がこれまで提案されてきた [19], [22], [33]。単旋律しか扱えないといった批判からポリフォニー音楽に対応する拡張も提案されている [10]。

3.3 GTTM の数理モデル化

曖昧な判断基準や競合するルールが存在するものの、他の認知的音楽理論に比べてルールが明確に記述していることから、これまでグルーピング構造解析や拍節構造解析など一部のサブ理論の計算機上へ実装が試みられた [26], [32]。計算機上への実装に関しては浜中らを中心に我が国で盛んに研究されており、選好規則の競合をパラメタ調整する [7]、木構造の確率的な生成モデルによってタイムスパン木を得る [12], [24] など、数多くの手法が提案され続けている。またタイムスパン木編集インタフェース [13] や 300 曲のタイムスパン解析結果のデータベース [11] なども特筆すべきであろう。

3.4 計算論的応用

東条らは最大タイムスパン (Maximal time-span) を導入し、旋律のタイムスパン木を半順序集合に

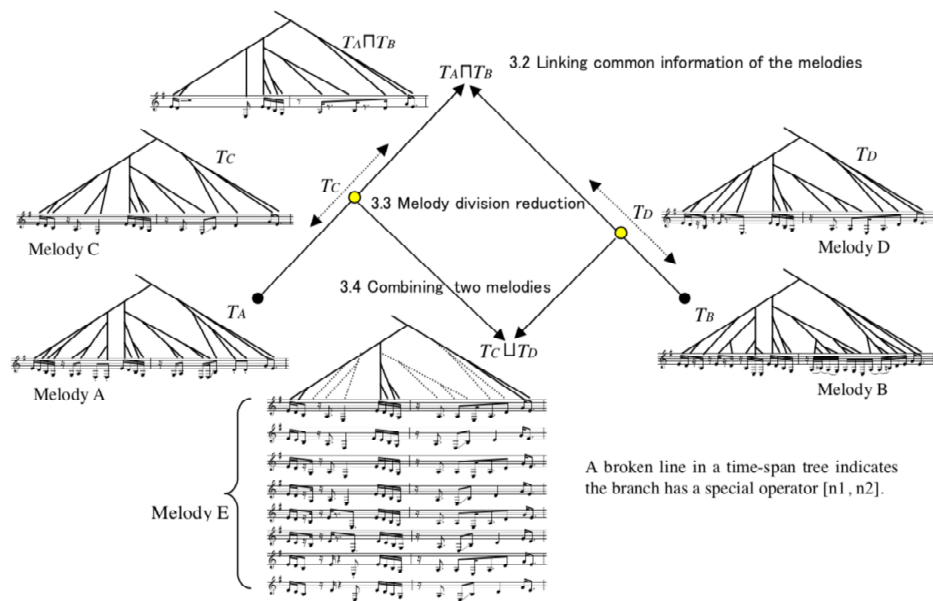


図4 メロディモーフィングの仕組み ([9], p.3)

した。そして積集合と和集合にあたる演算である join, meet 演算子を定義することにより代数的にタイムスパン木を扱えるようにした [34] (図3)。その結果、任意の旋律同士の編集距離が計算でき旋律のモーフィングが行えるようになった。なお、旋律同士の距離については、距離を非類似度とみなし聴取実験の結果と比較することで認知的リアリティを認めることができている [15], [20]。

また旋律のモーフィングは二つの旋律の内分点を計算する演算を導入し実現した [9], [16] (図4)。メロディのモーフィング技術の応用例として Shake Guitar[5] や Melody Slot Machine[6] が挙げられる。

4. 今後の研究課題

GTTM の延長解析の数理モデル化に向けた提案はあるもの [21] の完全な GTTM の実装ができていない。多くの研究者が GTTM の不備も指摘している以上、木構造による内的表象は賛同した上で GTTM より良いモデルがないかを探る動きが見られている [27], [28], [29]。また木構造に代わる階層的構造として、複数の生成モデルを組み合わせデータから音楽表現を得る [36] ことで編曲などの計算論的応用にも成功している [37]。

また文献 [41] でも指摘されているように認知的観点からは音楽が時系列メディアである以上、時時刻々どのような処理がなされているかをモデ

ル化する余地がある。ナムアの暗喩実現モデルはそのようなプロセスを対象とした理論と位置づけることができるが、こういった構造を持つ内的表象が現れるのかについては論じられていない。GTTM をはじめ階層構造に基づく理論の多くは静的な楽曲構造の内的表象をモデル化しており、動的な聴取プロセスの内的表象のモデル化はあまり進んでいない。GTTM に基づくメロディ予測 [8] は動的な聴取プロセスを取り扱った例であるが、内的表象の木構造がどのように変化して、それが情動にどう影響したのかなど研究の余地がある。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP16H01744, 17K14058 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Cadwallader, A. and Gagné, D.: *Analysis of Tonal Music: A Schenkerian Approach*, Oxford University Press (2007).
- [2] Cooper, G. W., Cooper, G. and Meyer, L. B.: *The rhythmic structure of music*, University of Chicago Press (1960).
- [3] Deutsch, D. and Feroe, J.: The internal representation of pitch sequences in tonal music., *Psychological review*, Vol. 88, No. 6, p. 503 (1981).
- [4] Dibben, N.: The cognitive reality of hierarchic structure in tonal and atonal music, *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, Vol. 12, No. 1, pp. 1-25 (1994).
- [5] Hamanaka, M., Yoshiya, M. and Yoshida, S.: Constructing music applications for smartphones, *ICMC* (2011).

- [6] Hamanaka, M.: Melody Slot Machine: A Controllable Holographic Virtual Performer, *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia*, pp. 2468–2477 (2019).
- [7] Hamanaka, M., Hirata, K. and Tojo, S.: Implementing “A generative theory of tonal music”, *Journal of New Music Research*, Vol. 35, No. 4, pp. 249–277 (2006).
- [8] Hamanaka, M., Hirata, K. and Tojo, S.: Melody Expectation Method Based on GTTM and TPS., *ISMIR*, pp. 107–112 (2008).
- [9] Hamanaka, M., Hirata, K. and Tojo, S.: Melody Morphing Method Based on GTTM., *ICMC*, Cite-seer, pp. 155–158 (2008).
- [10] Hamanaka, M., Hirata, K. and Tojo, S.: Time-span tree analyzer for polyphonic music, *10th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research (CMMR 2013)*, pp. 886–893 (2013).
- [11] Hamanaka, M., Hirata, K. and Tojo, S.: Musical structural analysis database based on GTTM, *ISMIR* (2014).
- [12] Hamanaka, M., Hirata, K. and Tojo, S.: σ GTTM III: Learning-Based Time-Span Tree Generator Based on PCFG, *International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research*, Springer, pp. 387–404 (2015).
- [13] Hamanaka, M. and Tojo, S.: Interactive GTTM Analyzer., *ISMIR*, pp. 291–296 (2009).
- [14] Hansen, N. C.: *The Legacy of Lerdahl and Jackendoff’s ‘A Generative Theory of Tonal Music’*, Danish Yearbook of Musicology (2010).
- [15] Hirata, K., Tojo, S. and Hamanaka, M.: Cognitive Similarity grounded by tree distance from the analysis of K. 265/300e, *International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research*, Springer, pp. 589–605 (2013).
- [16] Hirata, K., Tojo, S. and Hamanaka, M.: Algebraic Mozart by tree synthesis (2014).
- [17] Lerdahl, F.: *Tonal pitch space*, Oxford University Press (2004).
- [18] Lerdahl, F. and Jackendoff, R. S.: *A generative theory of tonal music*, MIT press (1983).
- [19] Marsden, A.: Generative structural representation of tonal music, *Journal of New Music Research*, Vol. 34, No. 4, pp. 409–428 (2005).
- [20] Matsubara, M., Hirata, K. and Tojo, S.: Distance in Pitch Sensitive Time-span Tree (2014).
- [21] Matsubara, M., Ishiwa, Y., Uehara, Y. and Tojo, S.: Computational Detection of Local Cadence on Revised TPS, *Proceedings of the Computer Simulation of Musical Creativity 2018 (CSMC2018)* (2018).
- [22] Matsubara, M., Kodama, T. and Tojo, S.: Revisiting Cadential Retention in GTTM, *2016 Eighth International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)*, IEEE, pp. 218–223 (2016).
- [23] Meyer, L. B.: *Emotion and meaning in music*, University of Chicago Press (1956).
- [24] Nakamura, E., Hamanaka, M., Hirata, K. and Yoshii, K.: Tree-structured probabilistic model of monophonic written music based on the generative theory of tonal music, *2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, IEEE, pp. 276–280 (2016).
- [25] Narmour, E.: *The analysis and cognition of basic melodic structures: The implication-realization model.*, University of Chicago Press (1990).
- [26] Nord, T. A.: Toward theoretical verification: Developing a computer model of Lerdahl and Jackendoff’s generative theory of tonal music. (1992).
- [27] Rizo, D. and Marsden, A.: A standard format proposal for hierarchical analyses and representations, *Proceedings of the 3rd International workshop on Digital Libraries for Musicology*, pp. 25–32 (2016).
- [28] Rohrmeier, M.: Towards a generative syntax of tonal harmony, *Journal of Mathematics and Music*, Vol. 5, No. 1, pp. 35–53 (2011).
- [29] Sawada, S., Takegawa, Y. and Hirata, K.: On Hierarchical Clustering of Spectrogram, *International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research*, Springer, pp. 226–237 (2017).
- [30] Schenker, H.: Free composition (E. Oster, Trans.) (1979).
- [31] Serafine, M. L., Glassman, N. and Overbeeke, C.: The cognitive reality of hierarchic structure in music, *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, Vol. 6, No. 4, pp. 397–430 (1989).
- [32] Temperley, D.: *The cognition of basic musical structures*, MIT press (2004).
- [33] Temperley, D. and Sleator, D.: Modeling meter and harmony: A preference-rule approach, *Computer Music Journal*, Vol. 23, No. 1, pp. 10–27 (1999).
- [34] Tojo, S. and Hirata, K.: Structural similarity based on time-span tree, *International Symposium on Computer Music Modeling and Retrieval*, Springer, pp. 400–421 (2012).
- [35] Tojo, S., Hirata, K. and Hamanaka, M.: Computational Reconstruction of Cognitive Music Theory, *New Generation Computing*, Vol. 31, No. 2, pp. 89–113 (2013).
- [36] Tsushima, H., Nakamura, E., Itoyama, K. and Yoshii, K.: Generative statistical models with self-emergent grammar of chord sequences, *Journal of New Music Research*, Vol. 47, No. 3, pp. 226–248 (2018).
- [37] Tsushima, H., Nakamura, E., Itoyama, K. and Yoshii, K.: Interactive Arrangement of Chords and Melodies Based on a Tree-Structured Generative Model., *ISMIR*, pp. 145–151 (2018).
- [38] 岡田暁生: 西洋音楽史:「クラシック」の黄昏, 中央公論新社 (2005).
- [39] 渡辺裕: 聴衆の誕生: ポスト・モダン時代の音楽文化, 春秋社 (2004).
- [40] 東条敏, 平田圭二: 音楽・数学・言語: 情報科学が拓く音楽の地平, 近代科学社 (2017).
- [41] 平賀讓: 計算の視点から音楽の構造を眺めてみると: 音楽理論の諸相-伝統的音楽理論と認知的音楽理論, 情報処理, Vol. 49, No. 8, pp. 993–1000 (2008).