

すべてのシミュレーションでの結果^{*1}

ここでは、深層学習モデルによる熱力学法則の発見の例証のうち、エントロピー増大則、公理 1 (反射律)、公理 5 (分割性と結合性) において、すべてのテストに使用したシミュレーションの結果を載せる。

^{*1} この文書はクリエイティブ・コモンズ 4.0 表示-非営利-改変禁止 (CC BY-NC-ND 4.0) で提供する。

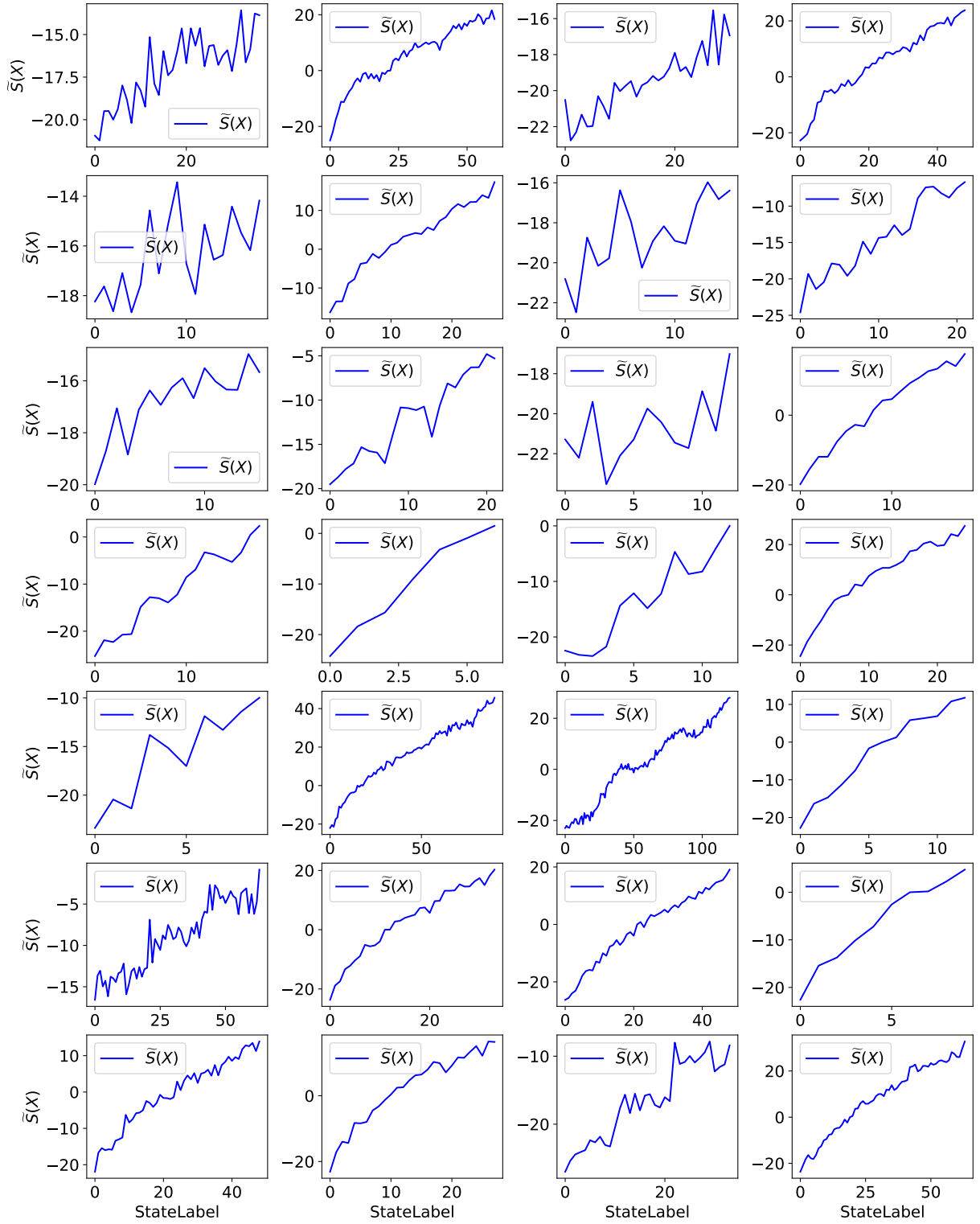


図 1: エントロピー増大測のすべてのシミュレーションの結果. 横軸に StateLabel を, 縦軸に $\tilde{S}(X)$ をとったグラフ. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X)$ は StateLabel の単調増加関数の傾向がある.

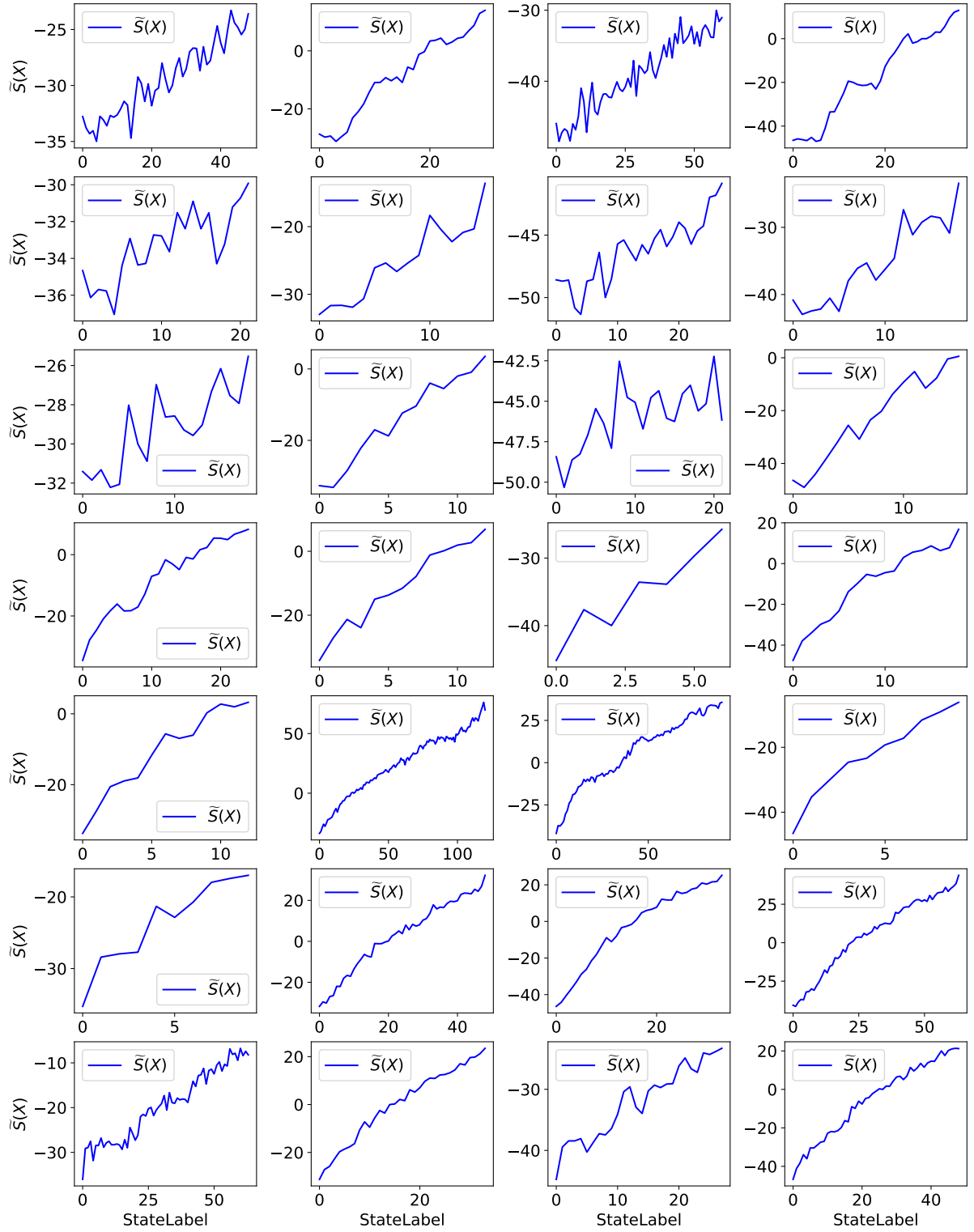


図 2: エントロピー増大測のすべてのシミュレーションの結果. 横軸に StateLabel を, 縦軸に $\tilde{S}(X)$ をとったグラフ. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X)$ は StateLabel の単調増加関数の傾向がある.

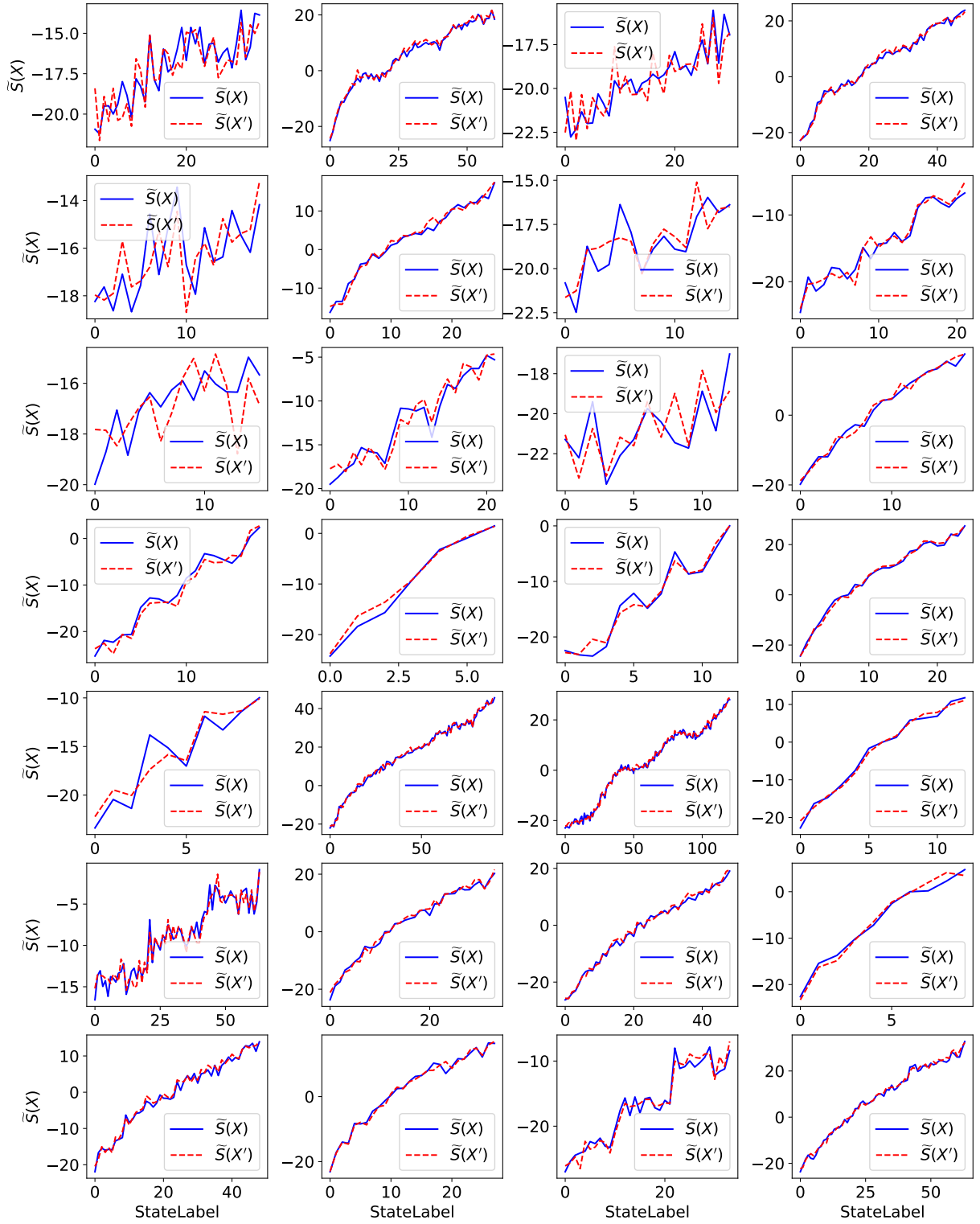


図 3: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, $\frac{\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

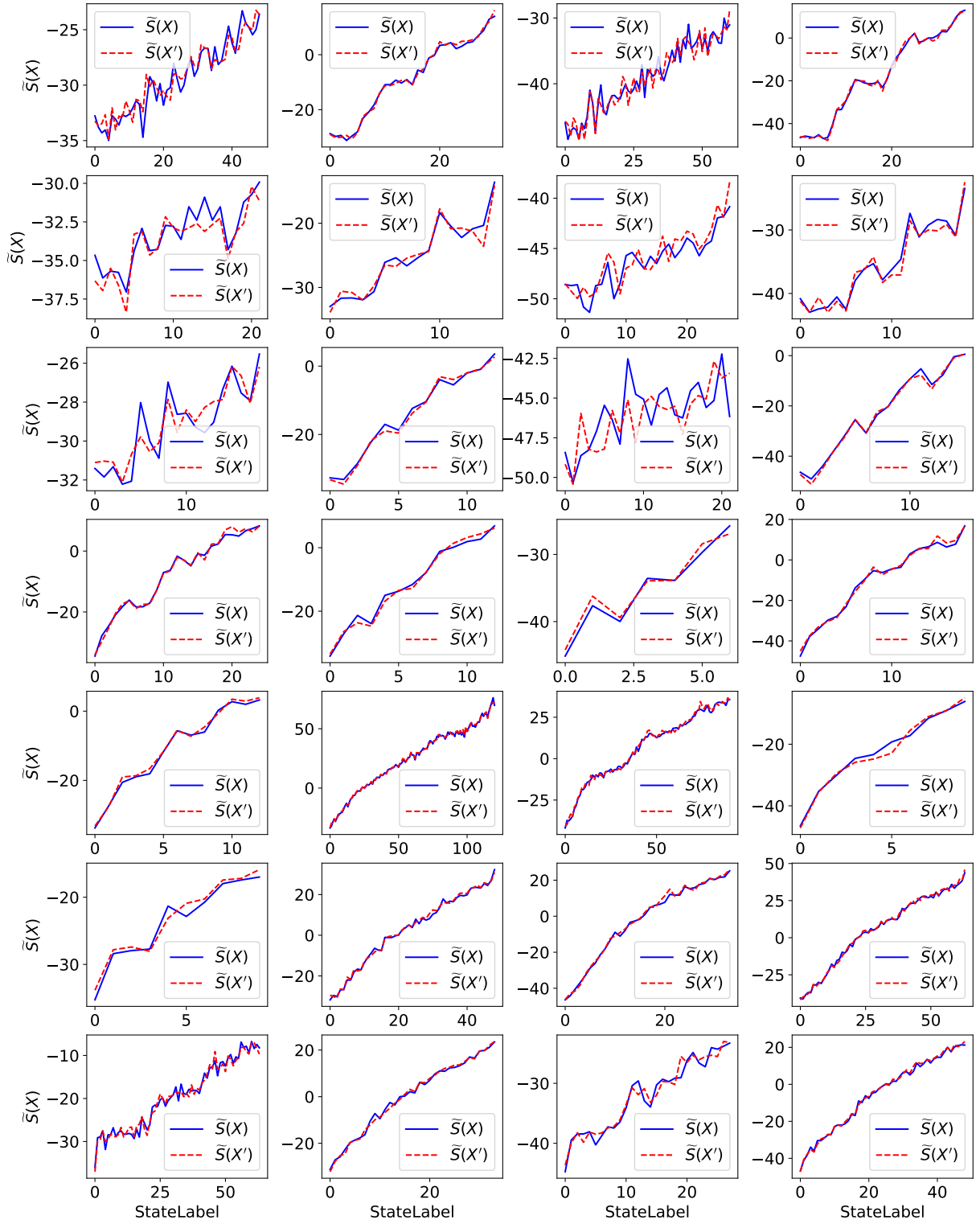


図 4: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, $\frac{\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

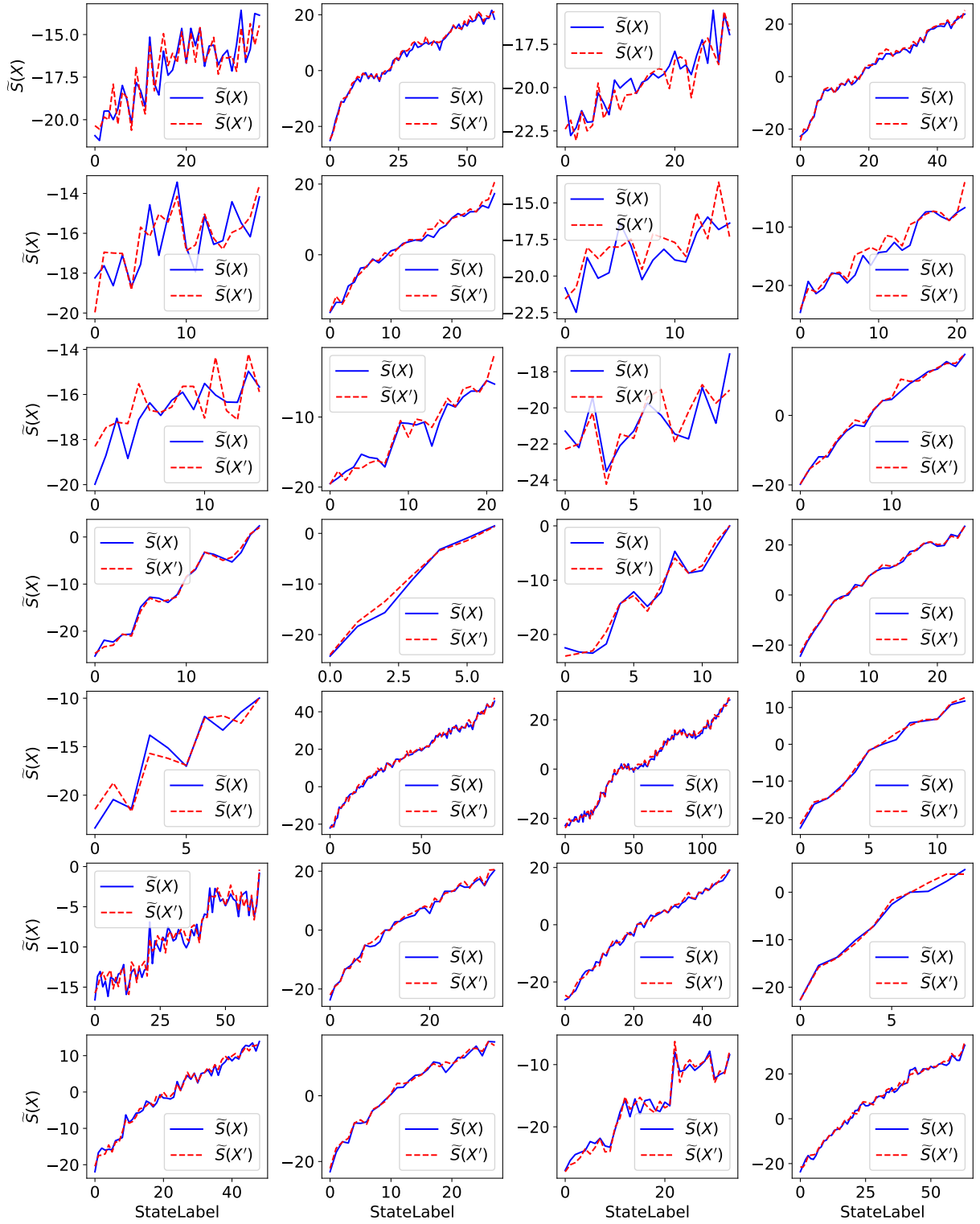


図 5: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, π 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

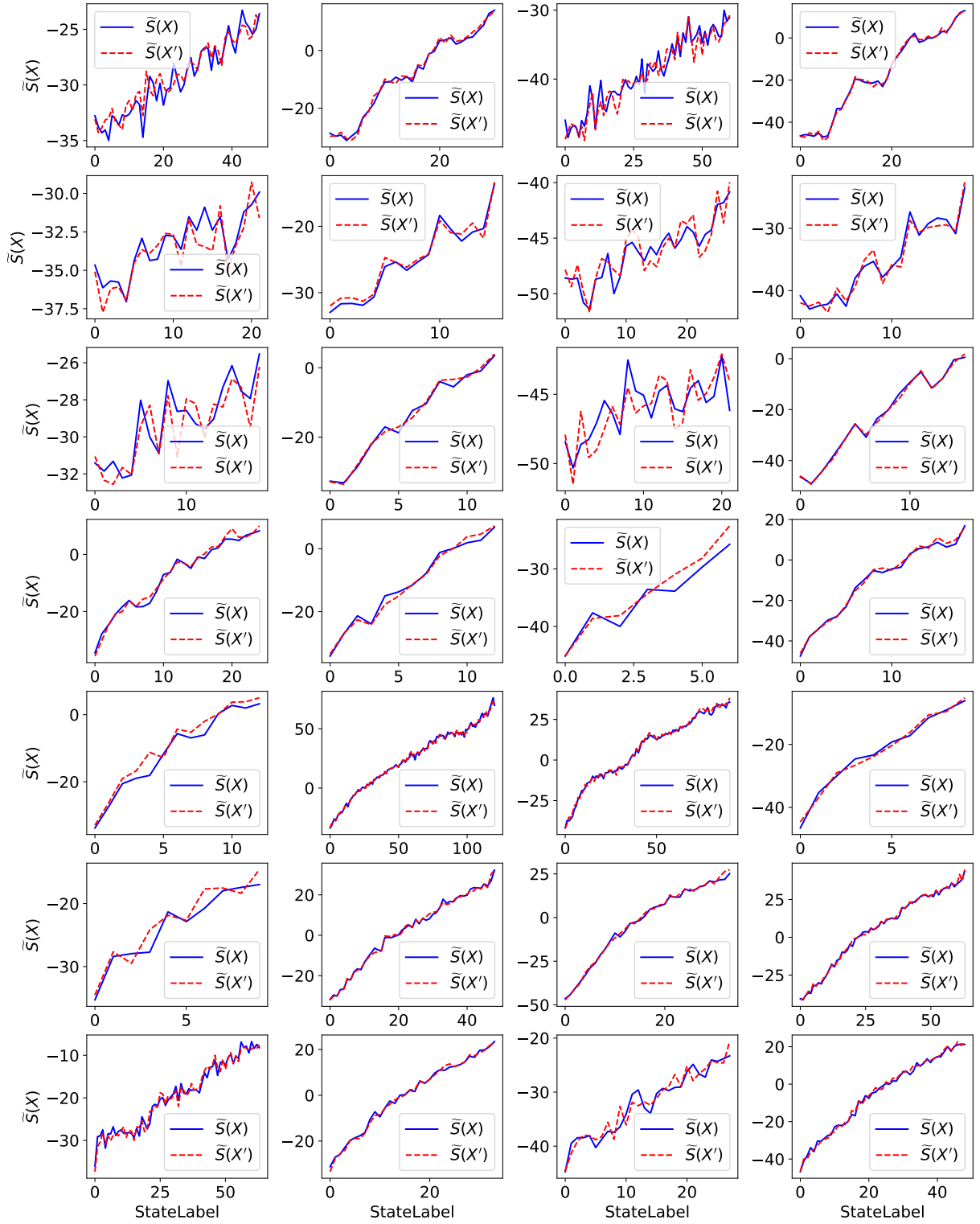


図 6: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, π 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

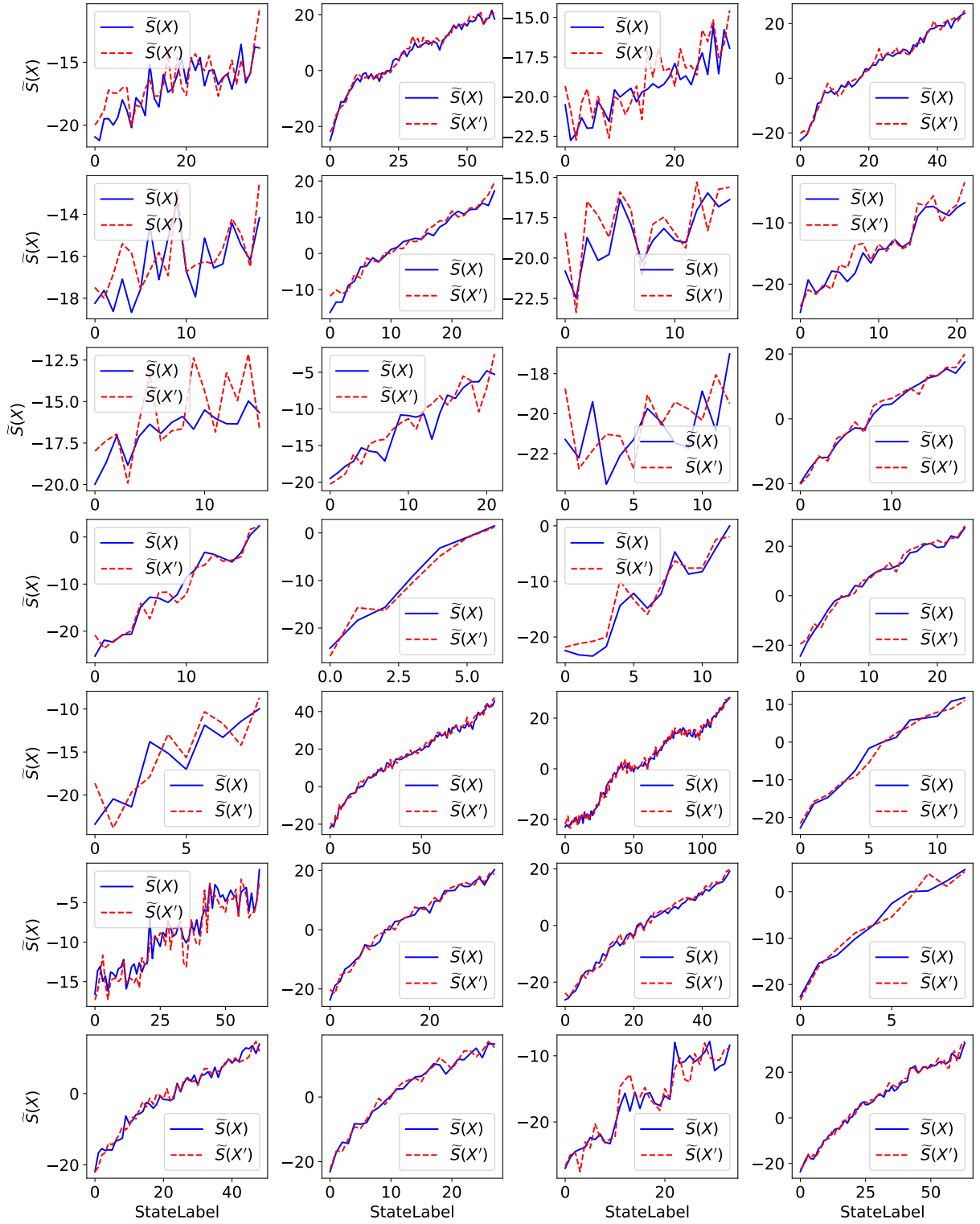


図 7: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, $\frac{3\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

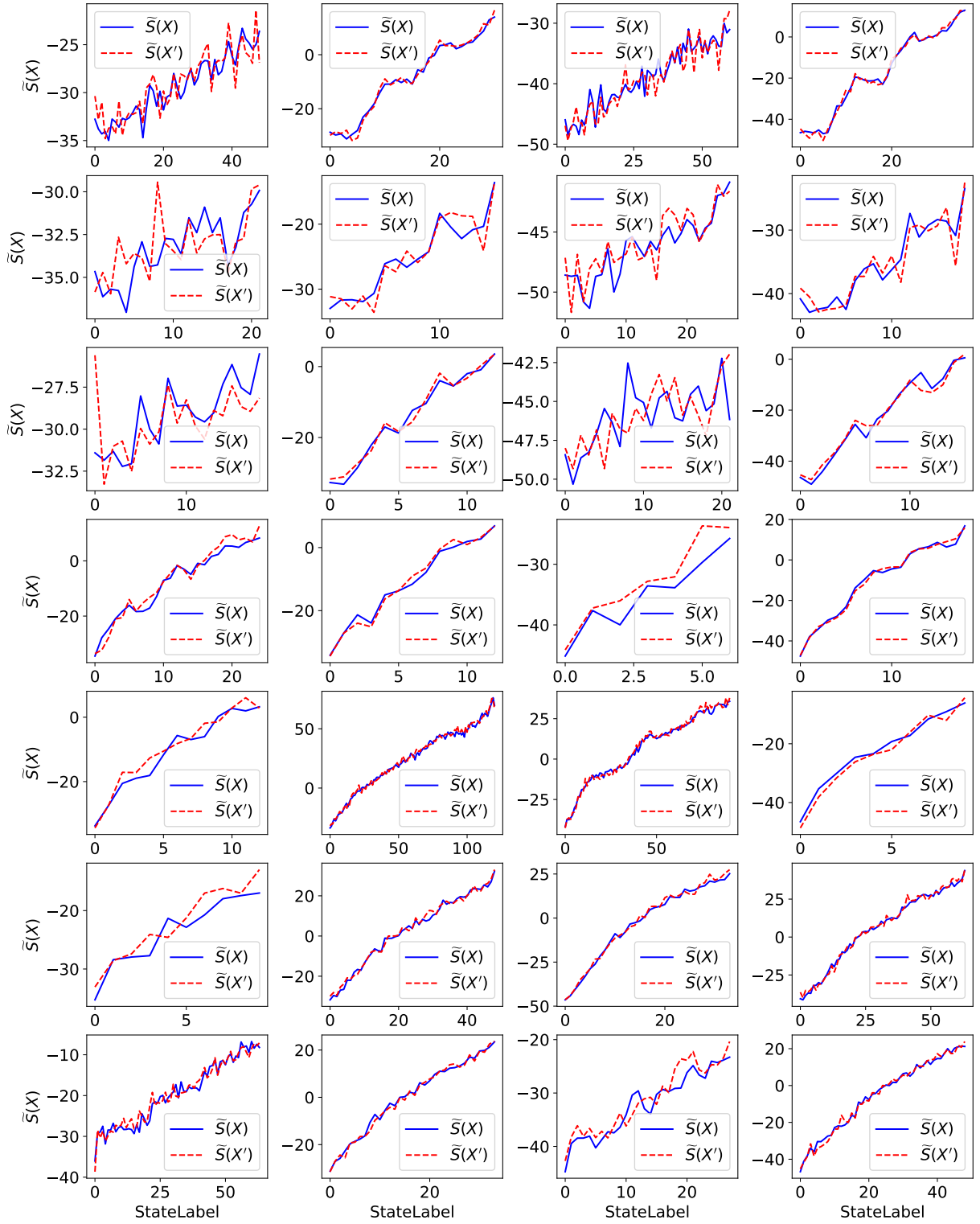


図 8: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, $\frac{3\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

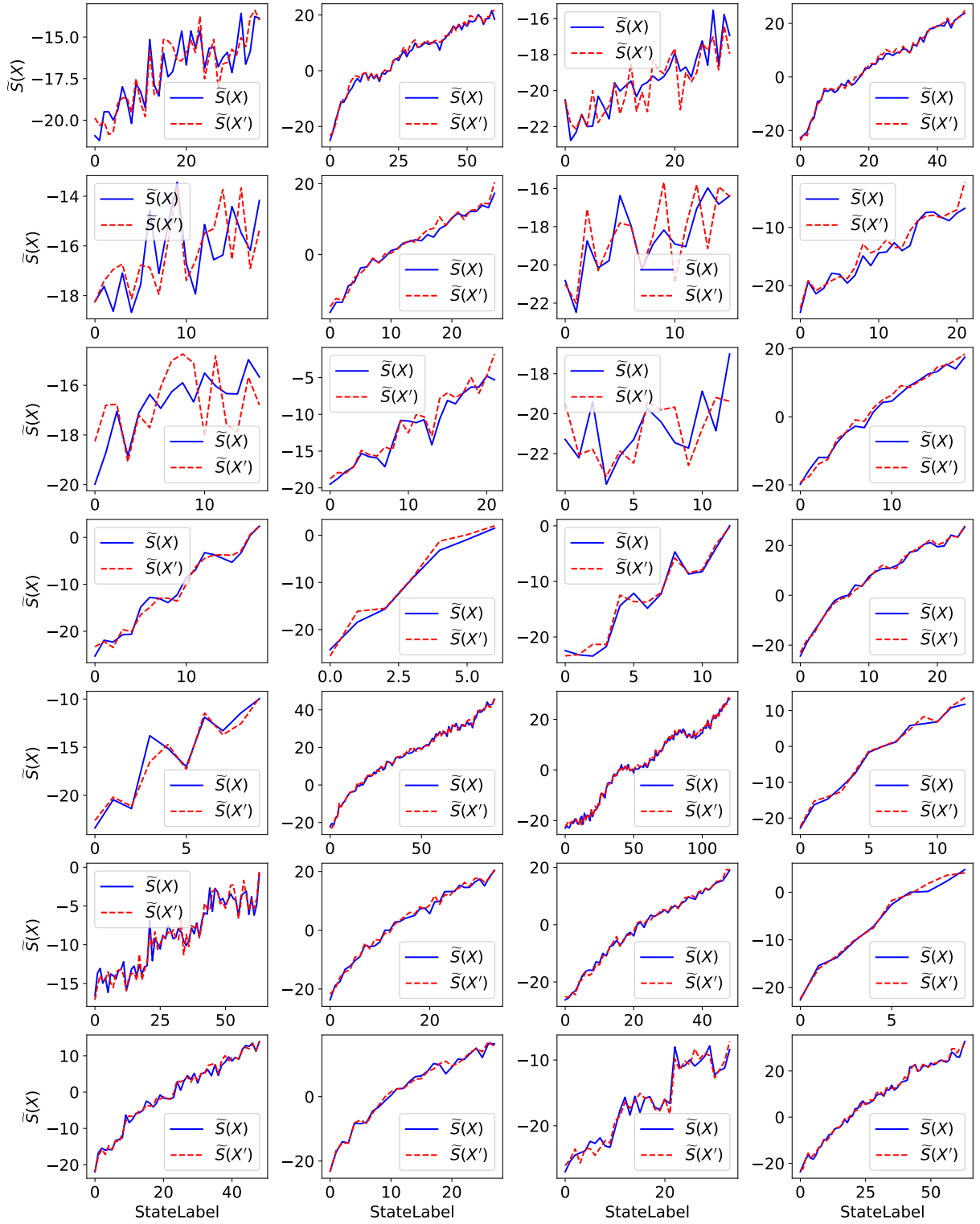


図 9: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, x 軸反転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

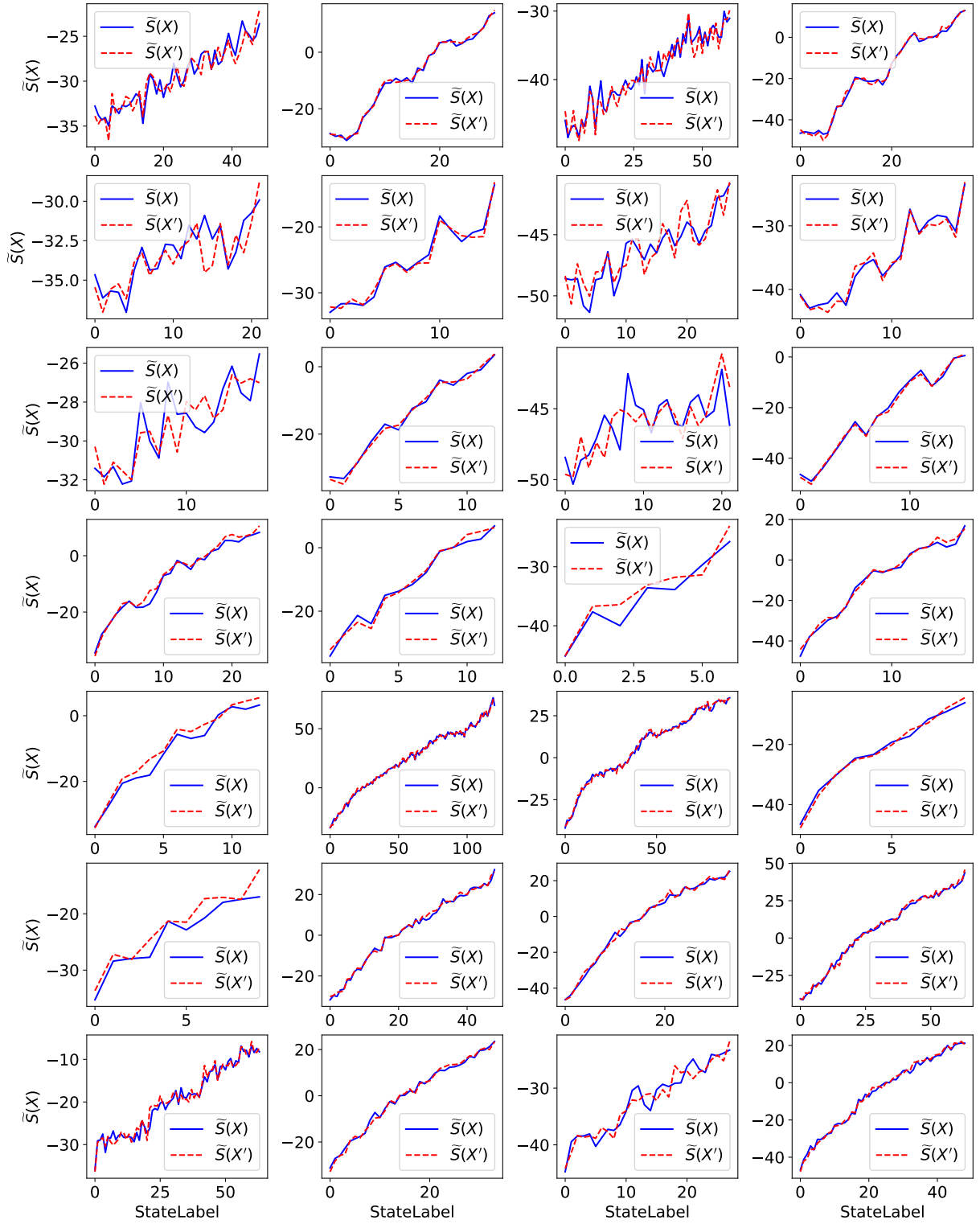


図 10: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, x 軸反転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

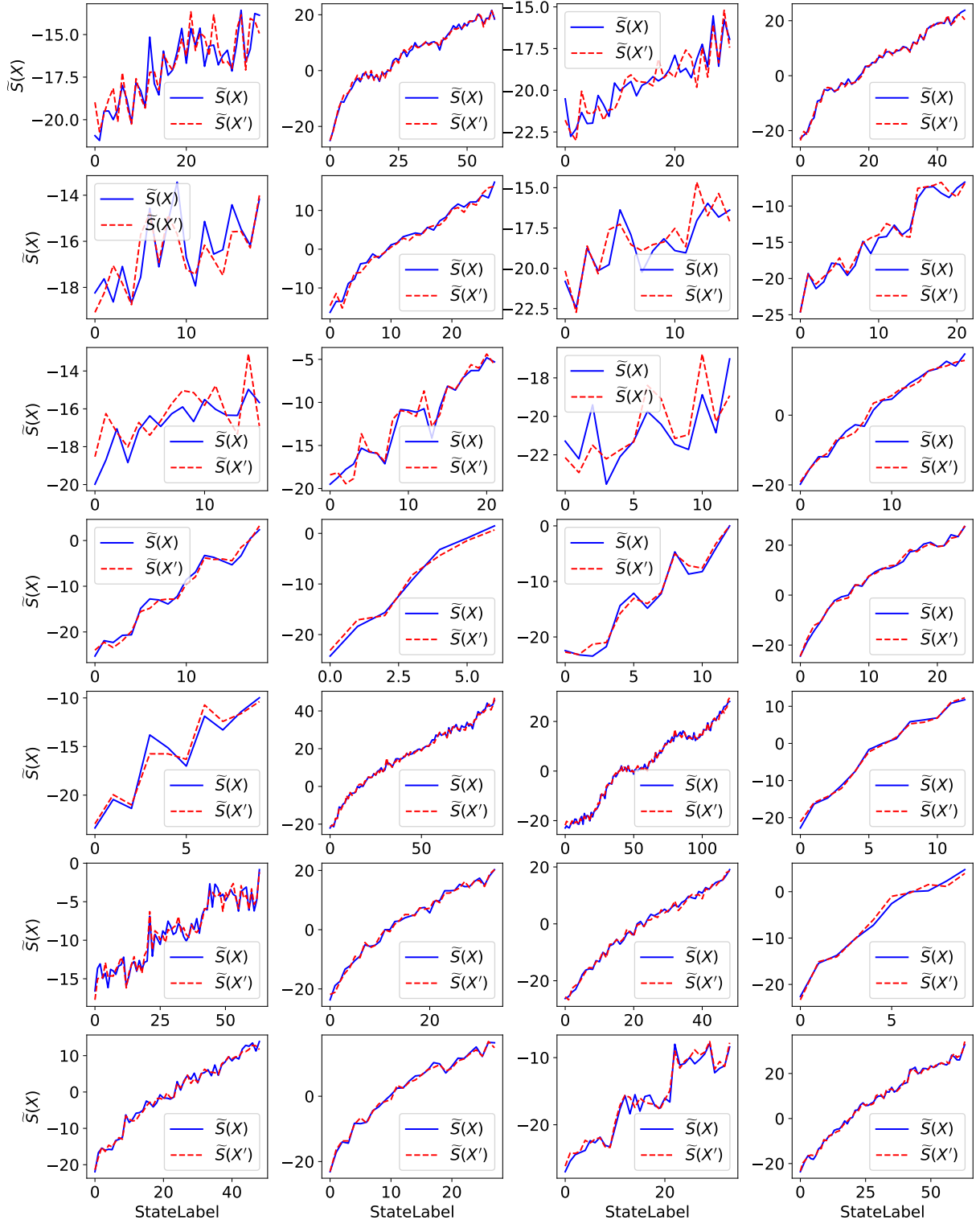


図 11: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, x 軸反転を施した後, $\frac{\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

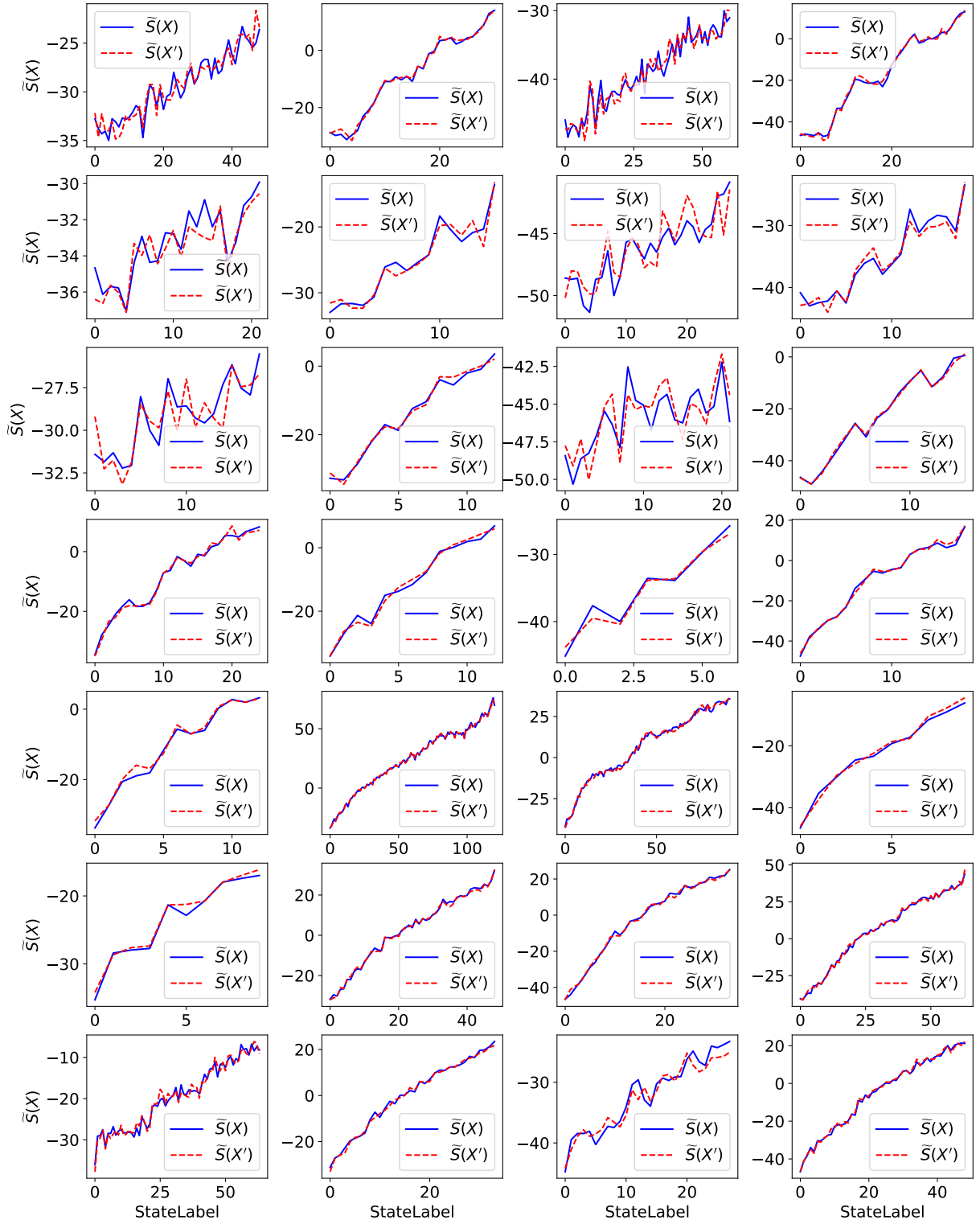


図 12: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, x 軸反転を施した後, $\frac{\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

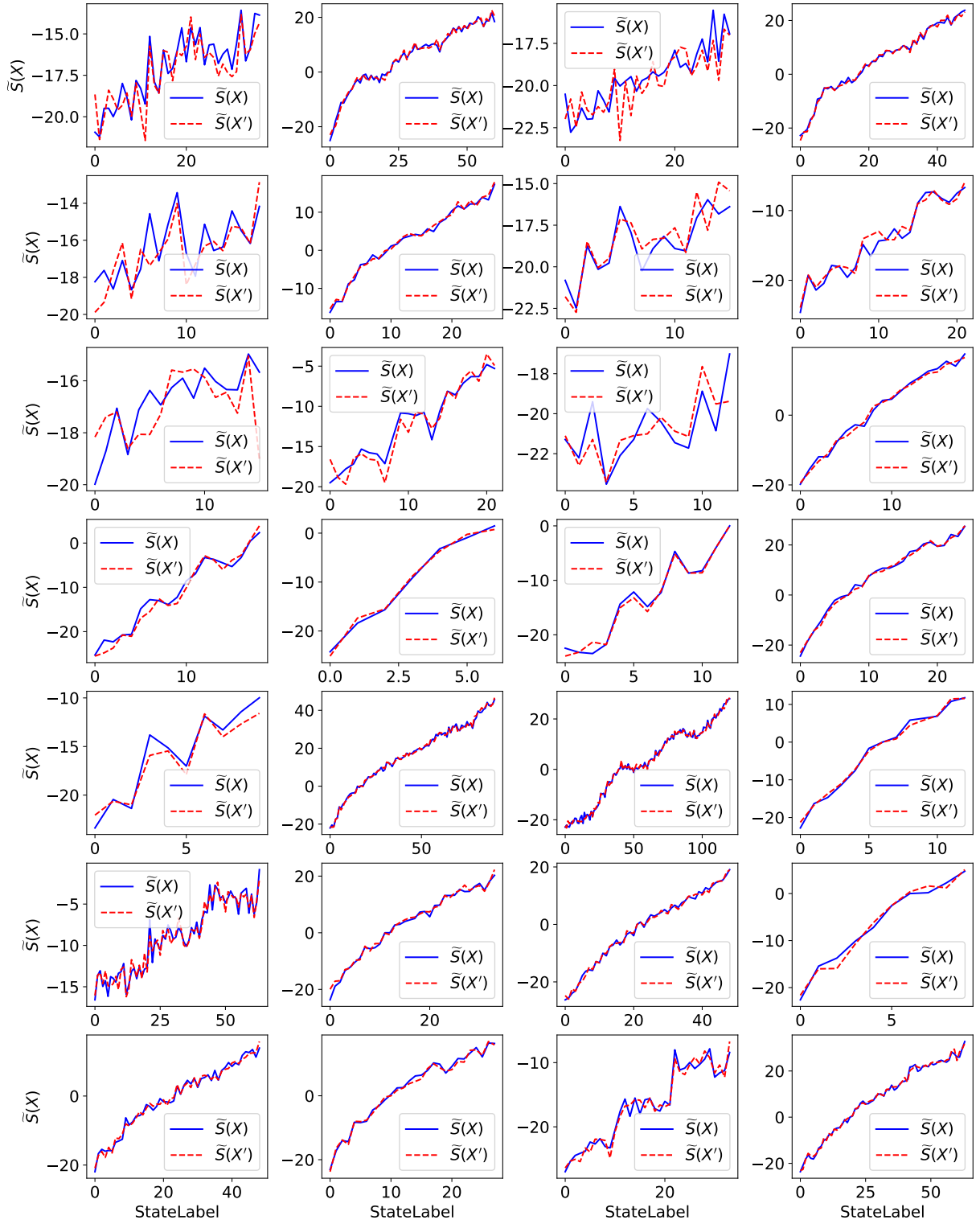


図 13: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, x 軸反転を施した後, π 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

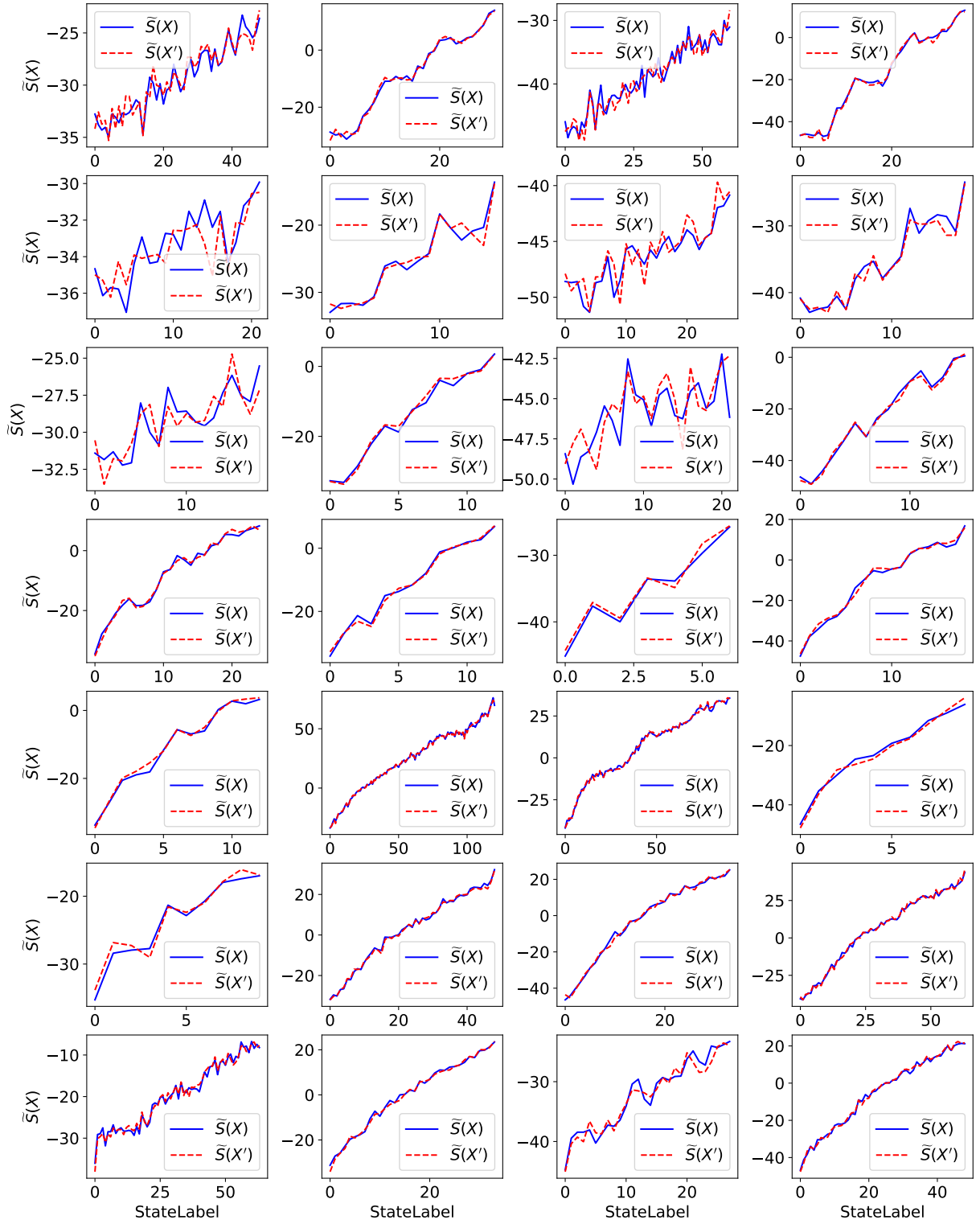


図 14: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, x 軸反転を施した後, π 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

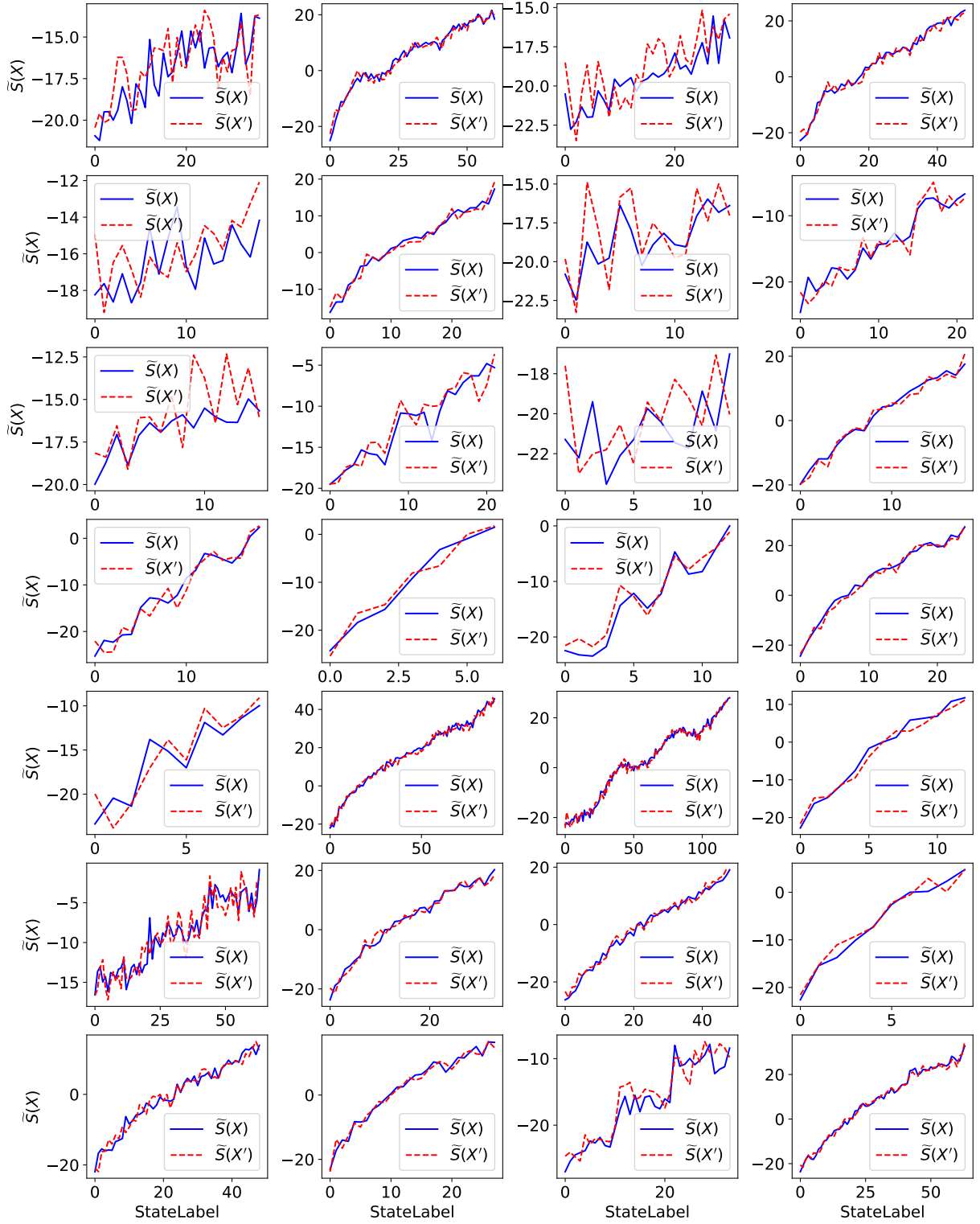


図 15: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, x 軸反転を施した後, $\frac{3\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \approx \tilde{S}(X')$ となっている.

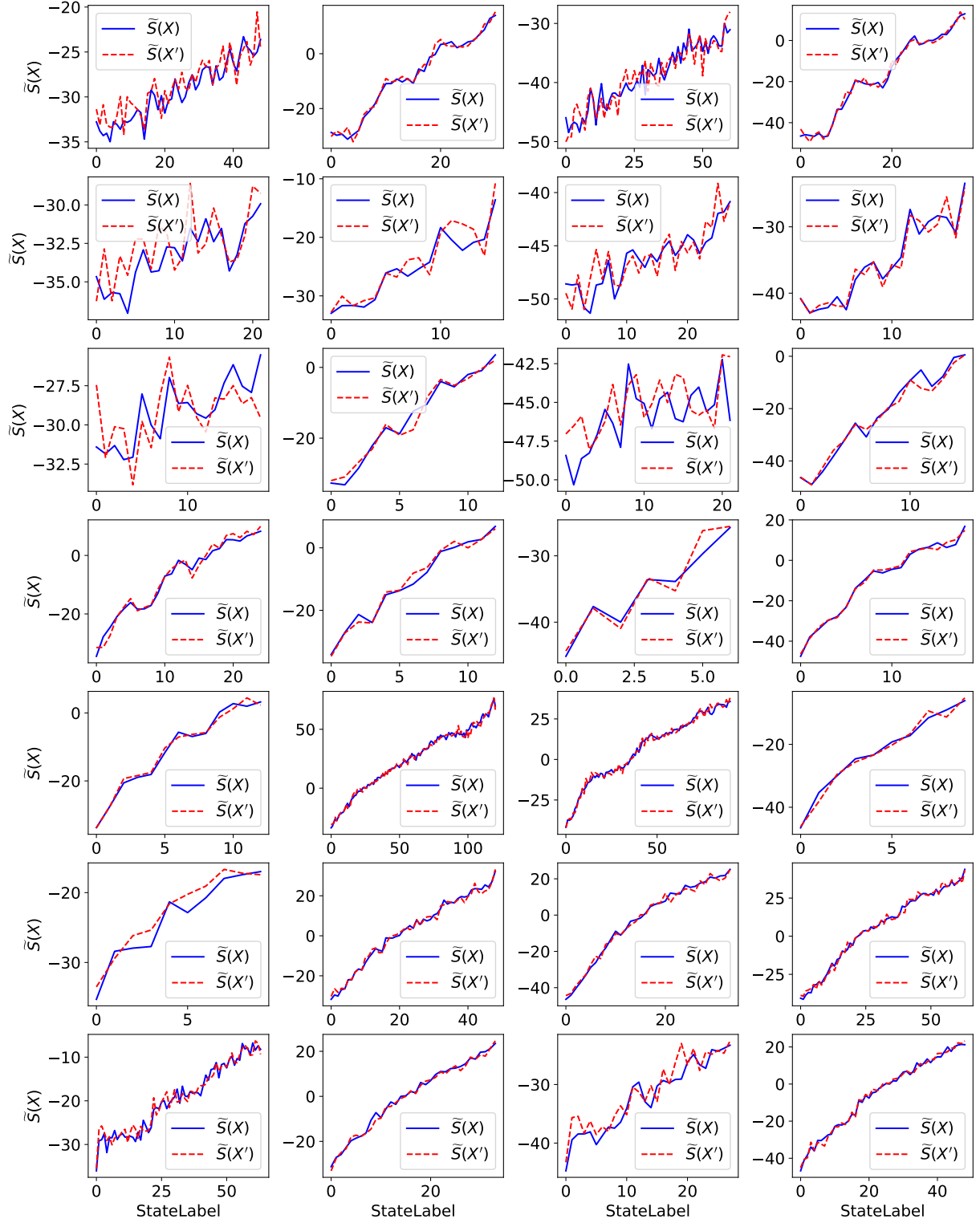


図 16: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, x 軸反転を施した後, $\frac{3\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

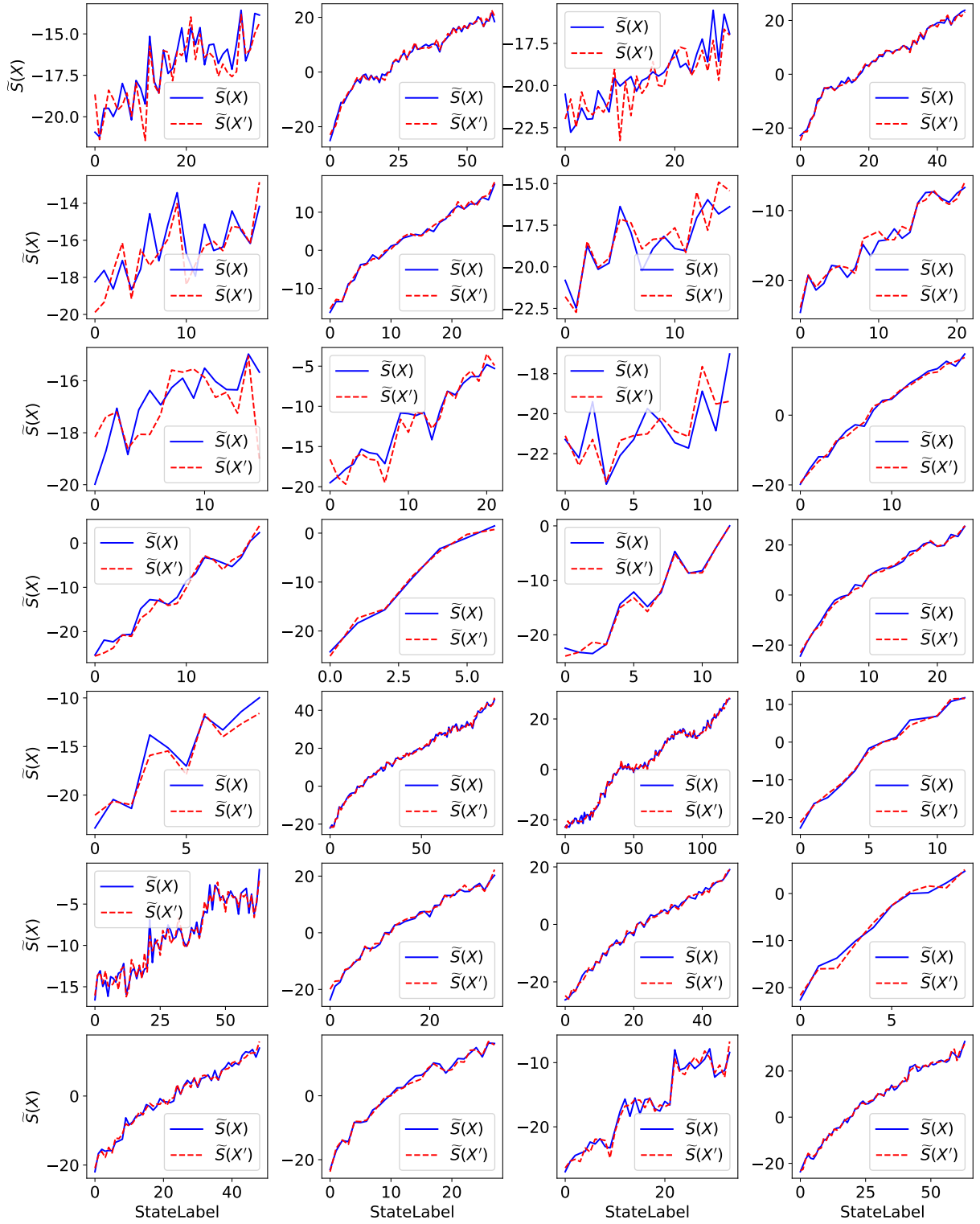


図 17: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, y 軸反転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

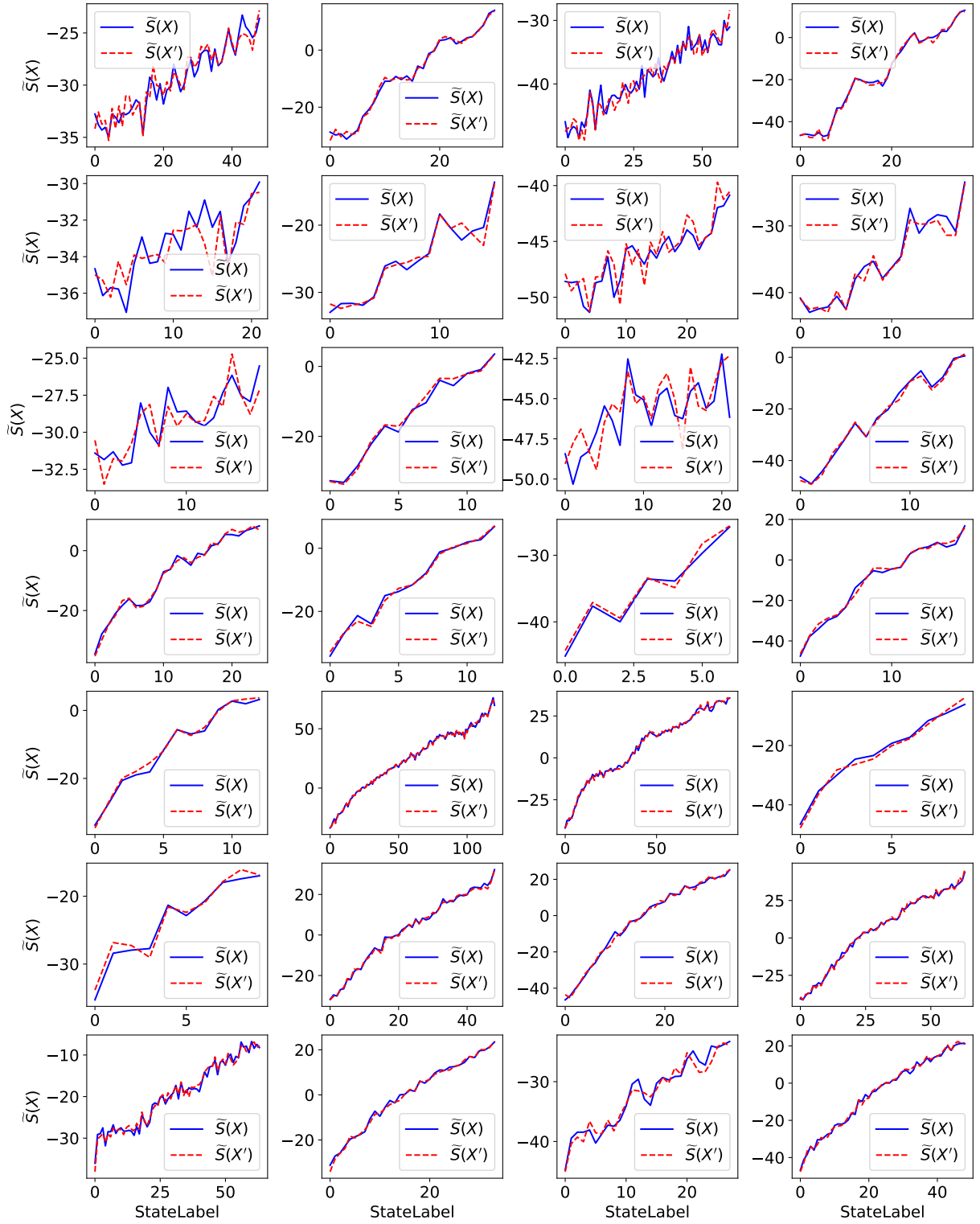


図 18: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, y 軸反転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

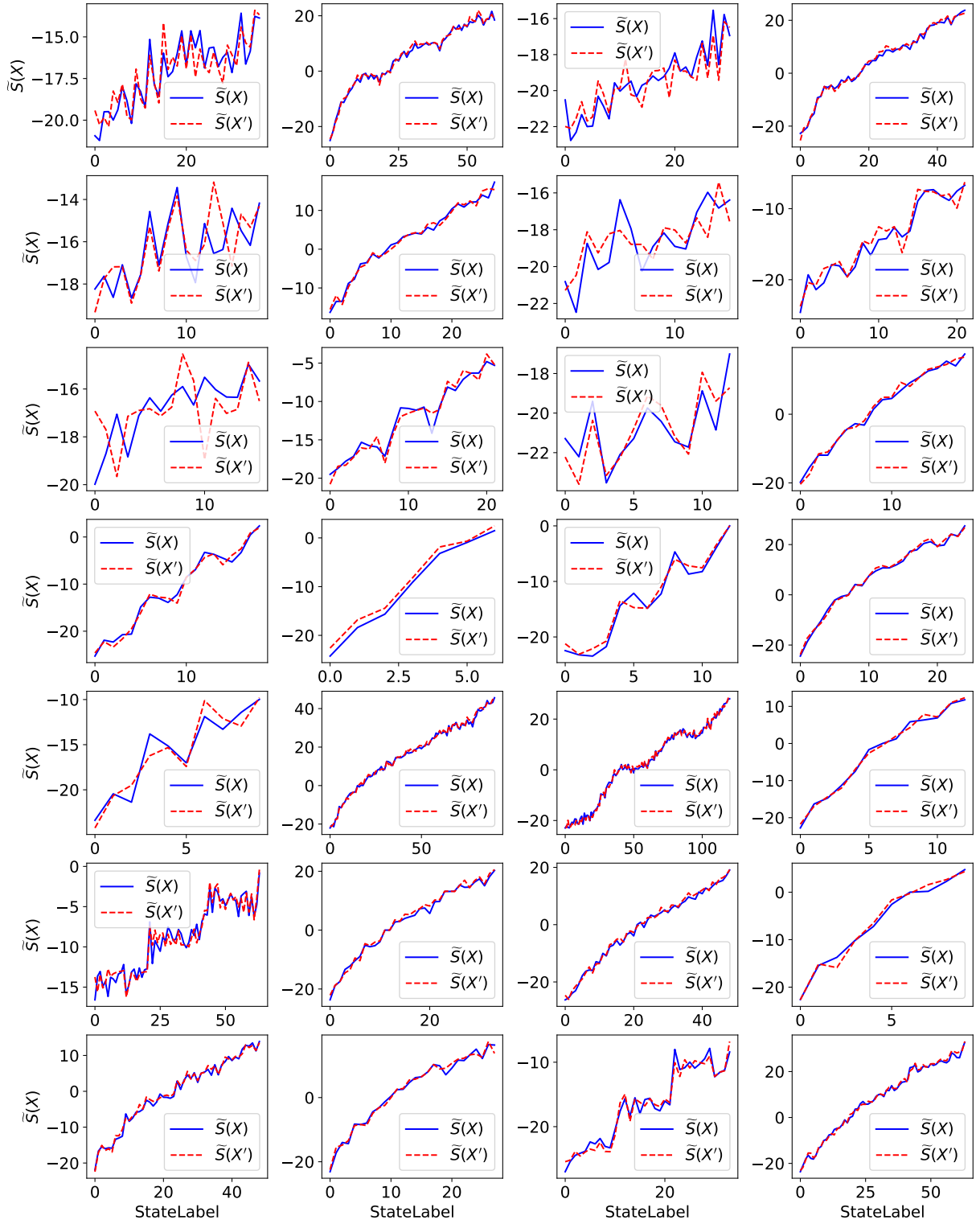


図 19: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, y 軸反転を施した後, $\frac{\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

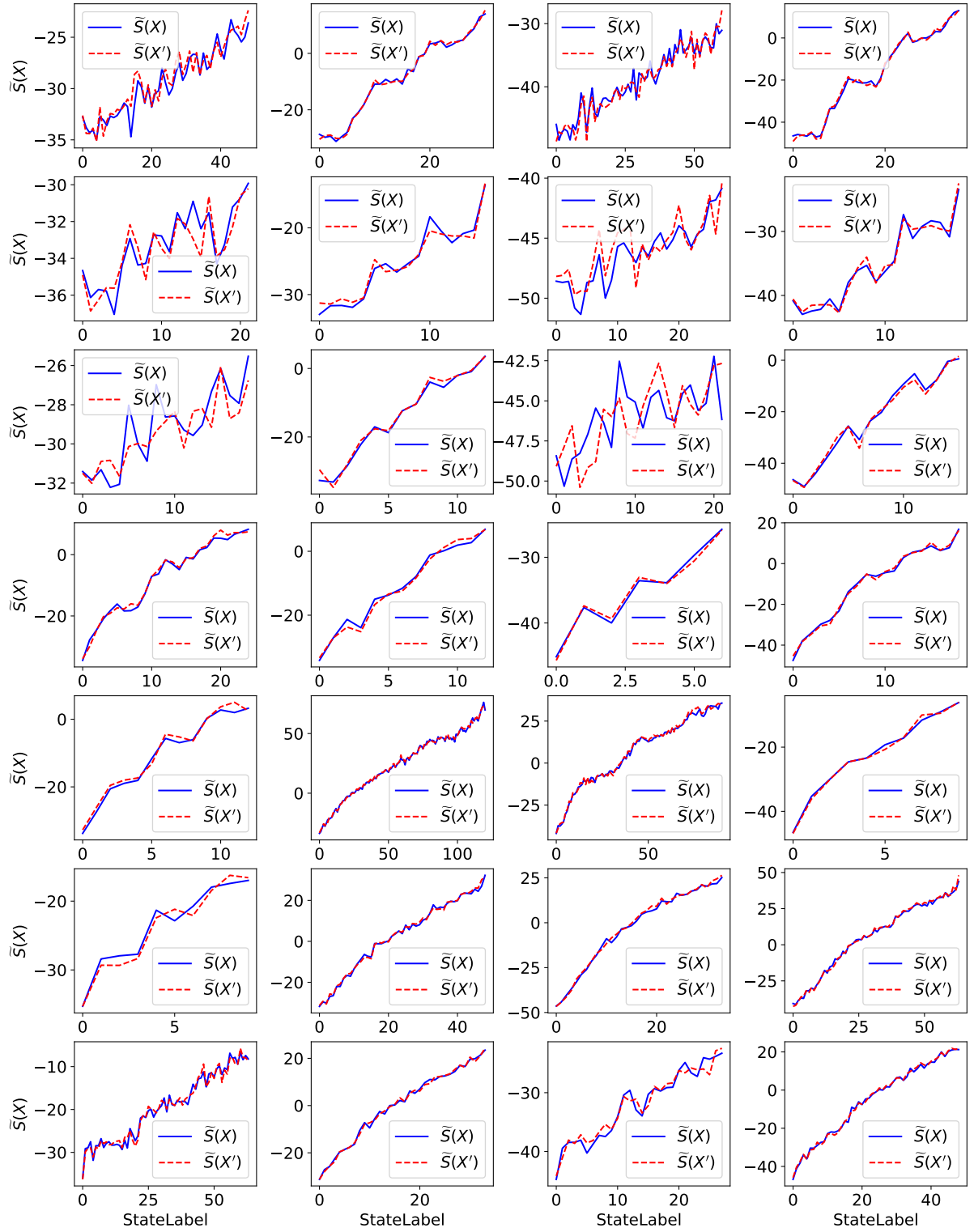


図 20: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, y 軸反転を施した後, $\frac{\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

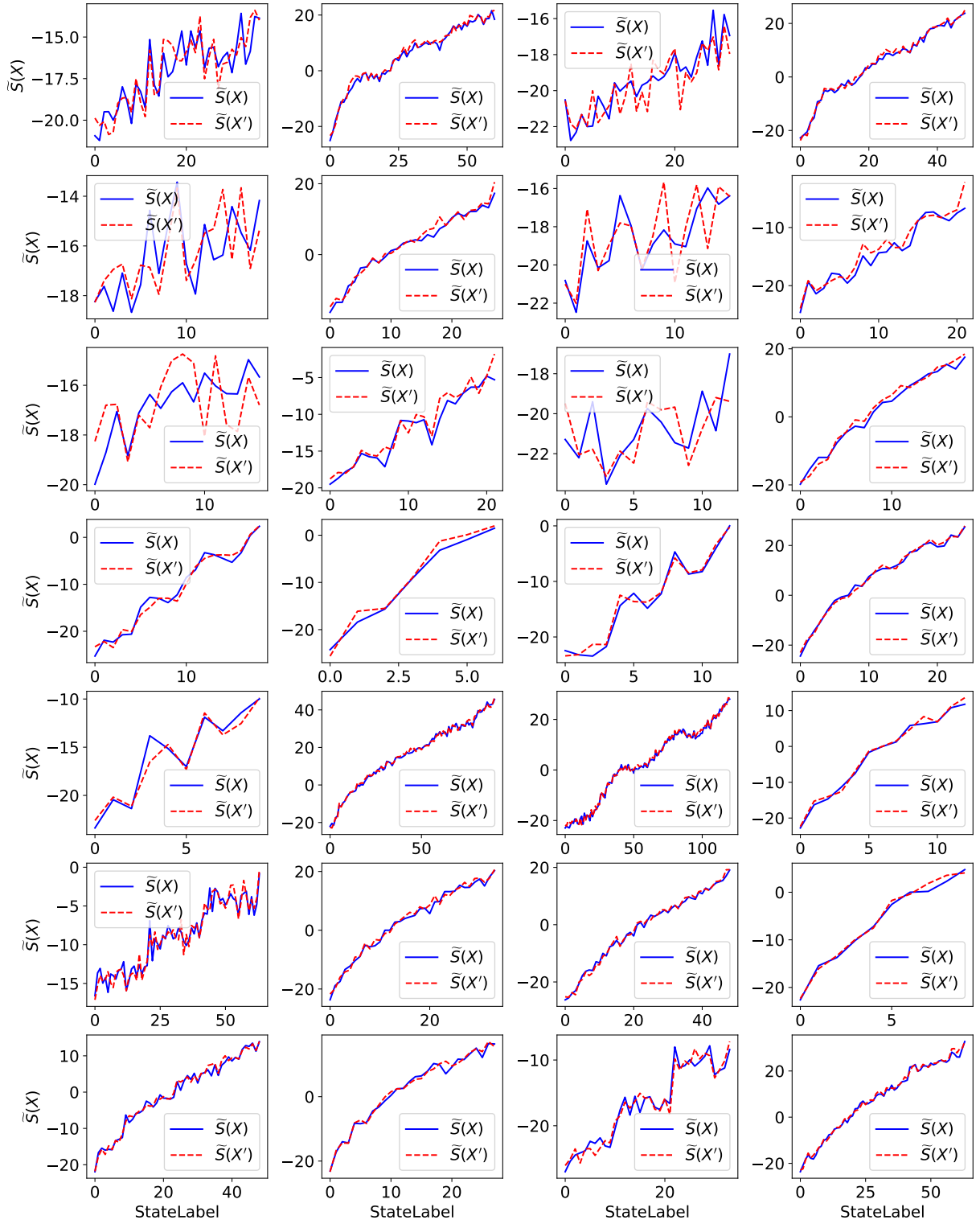


図 21: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, y 軸反転を施した後, π 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

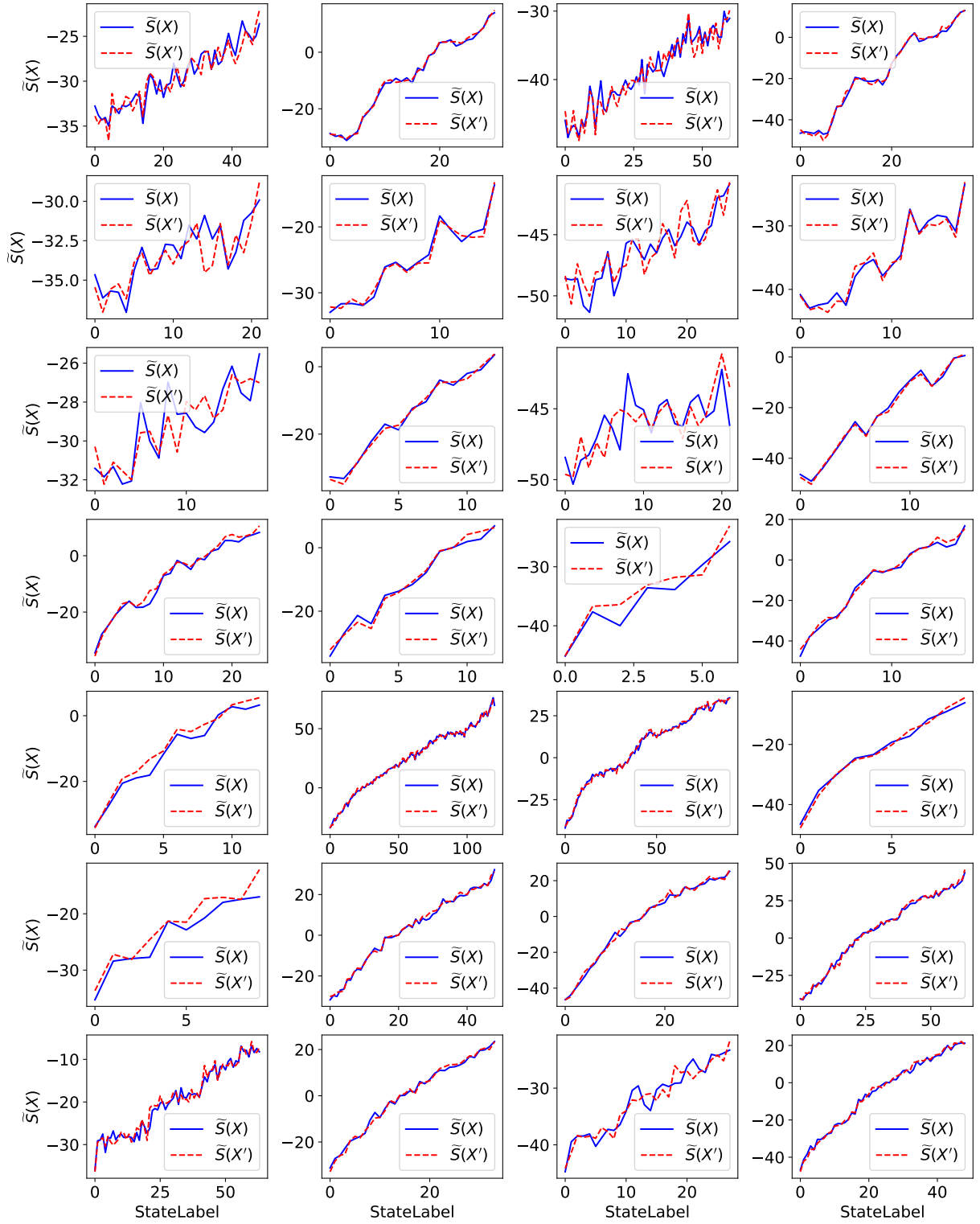


図 22: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, y 軸反転を施した後, π 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

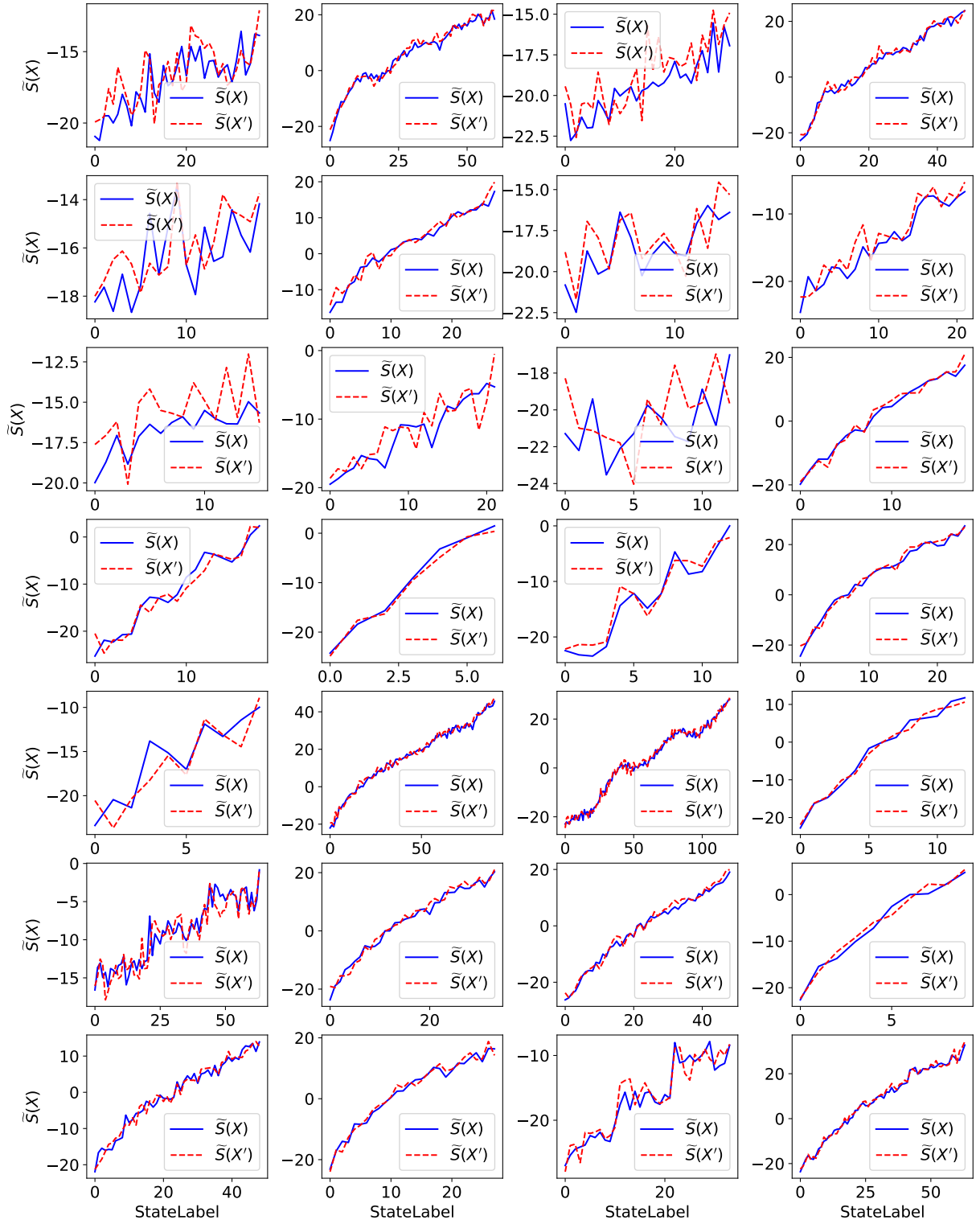


図 23: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, y 軸反転を施した後, $\frac{3\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

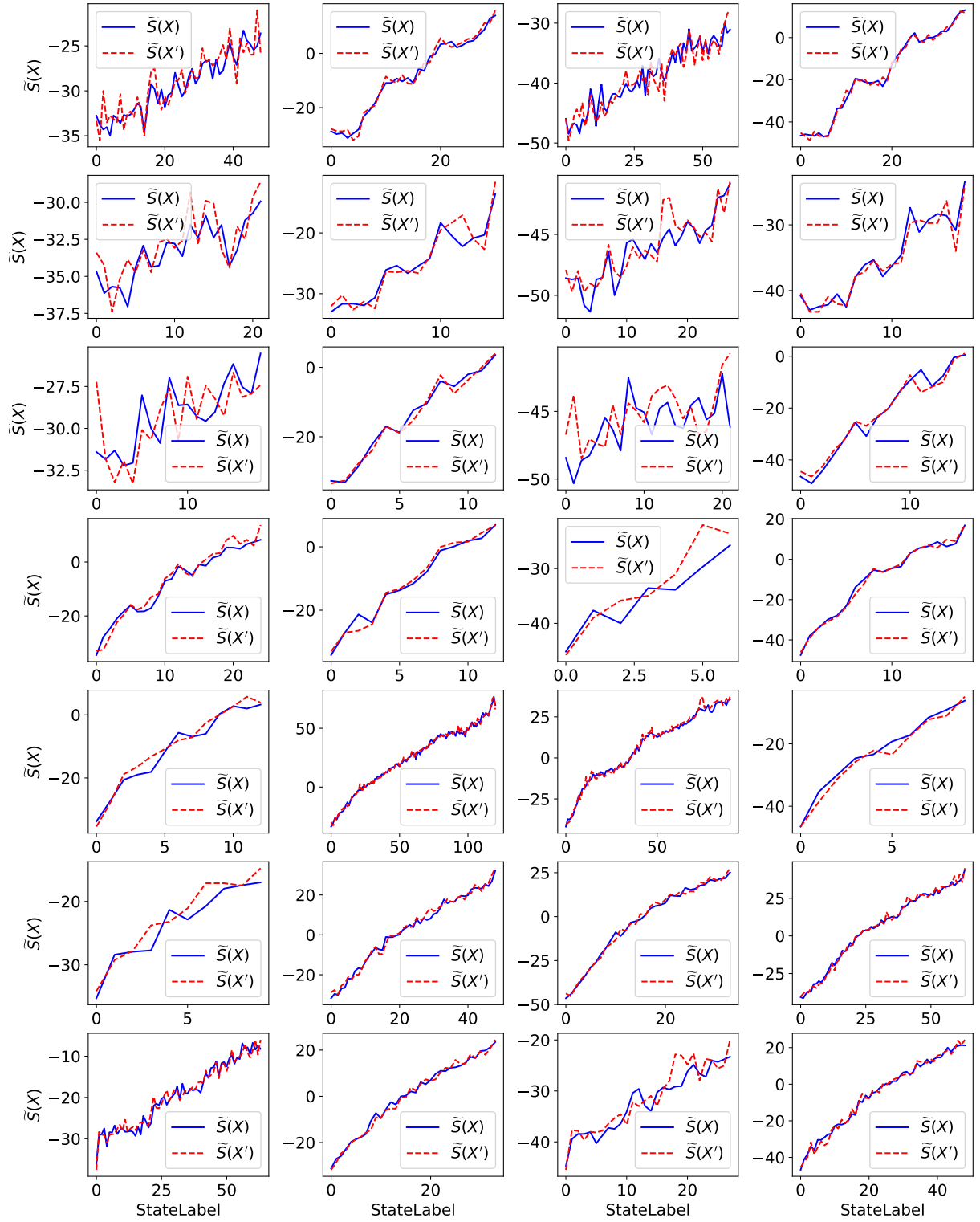


図 24: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, y 軸反転を施した後, $\frac{3\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

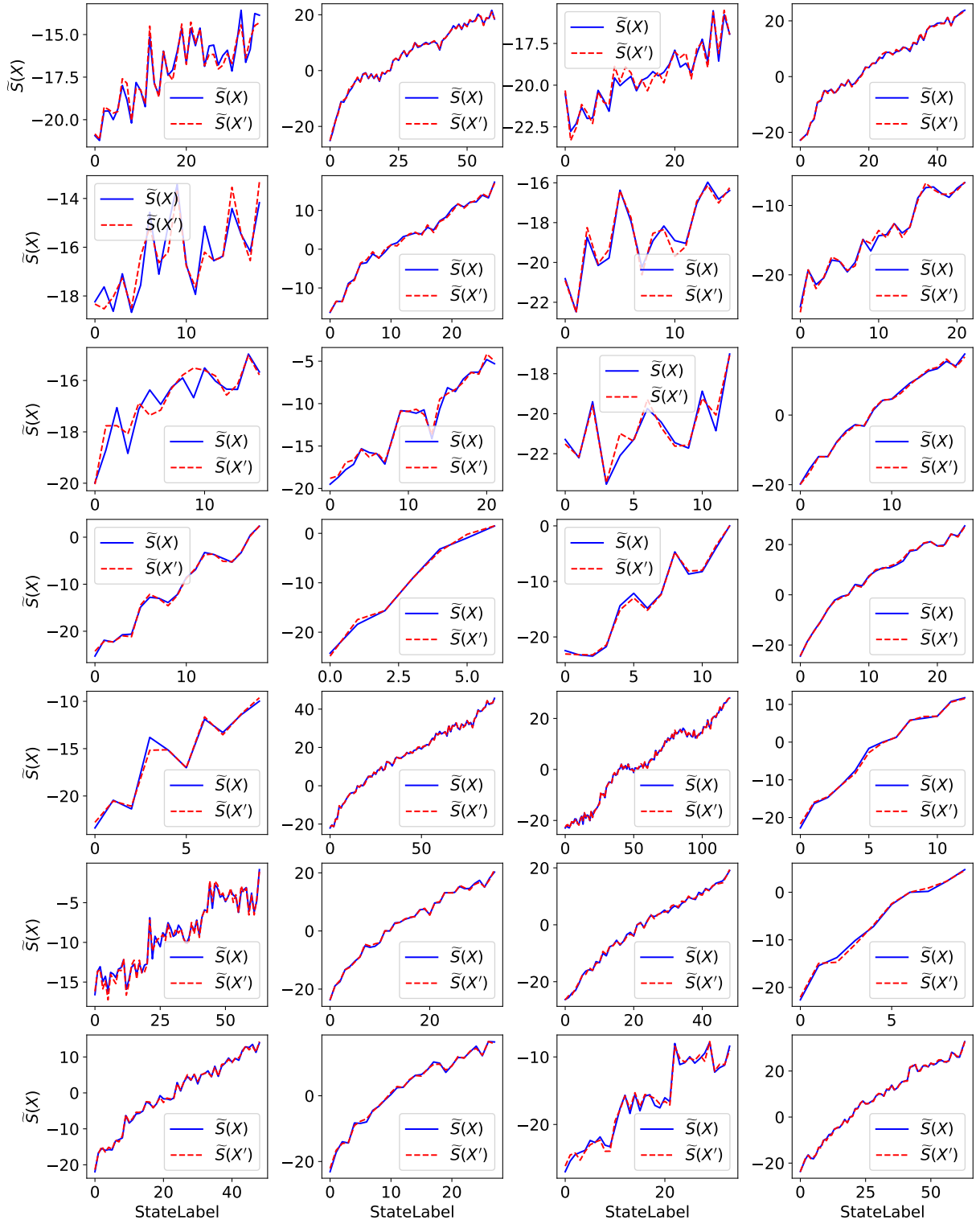


図 25: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, 時間反転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \approx \tilde{S}(X')$ となっている.

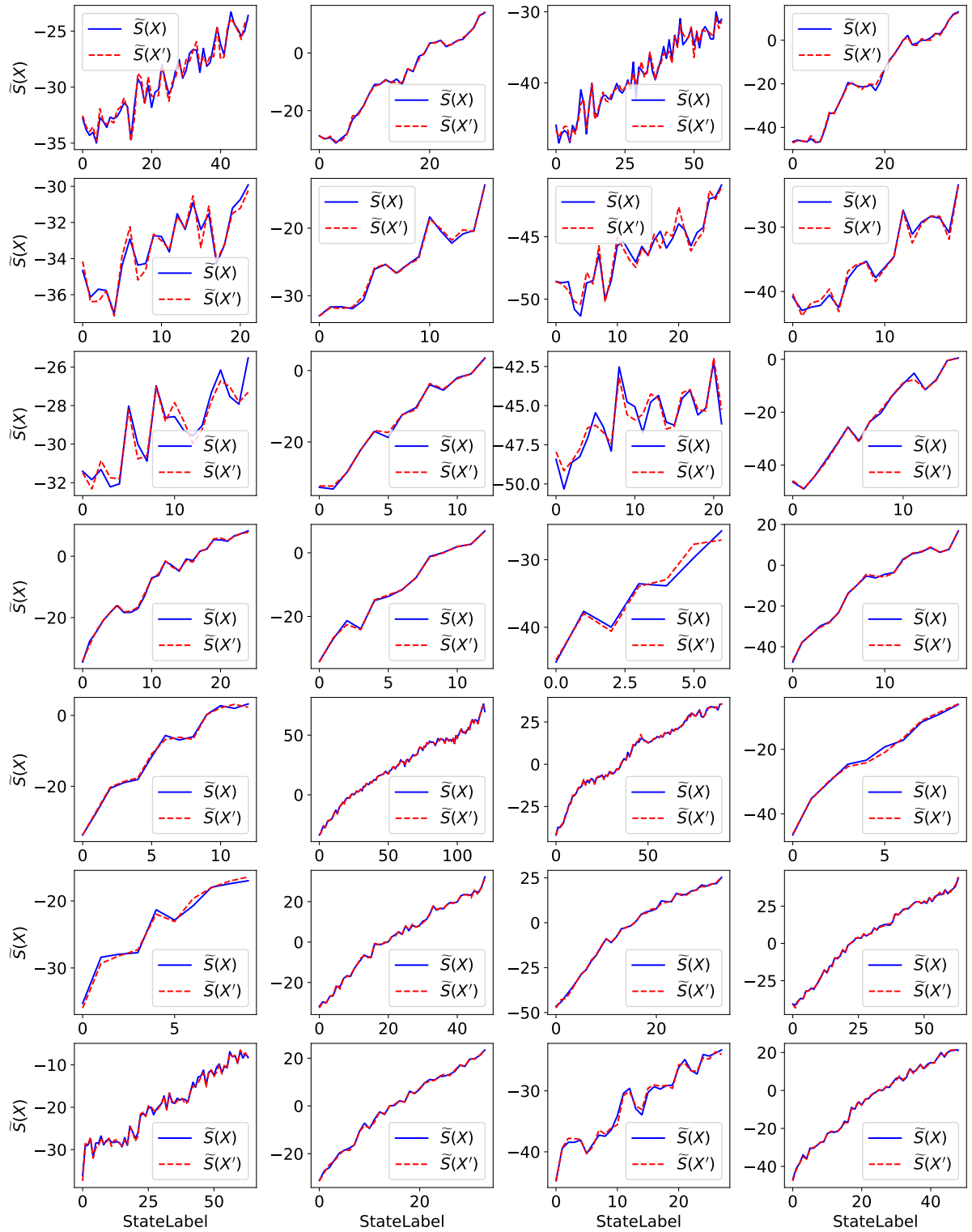


図 26: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, 時間反転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

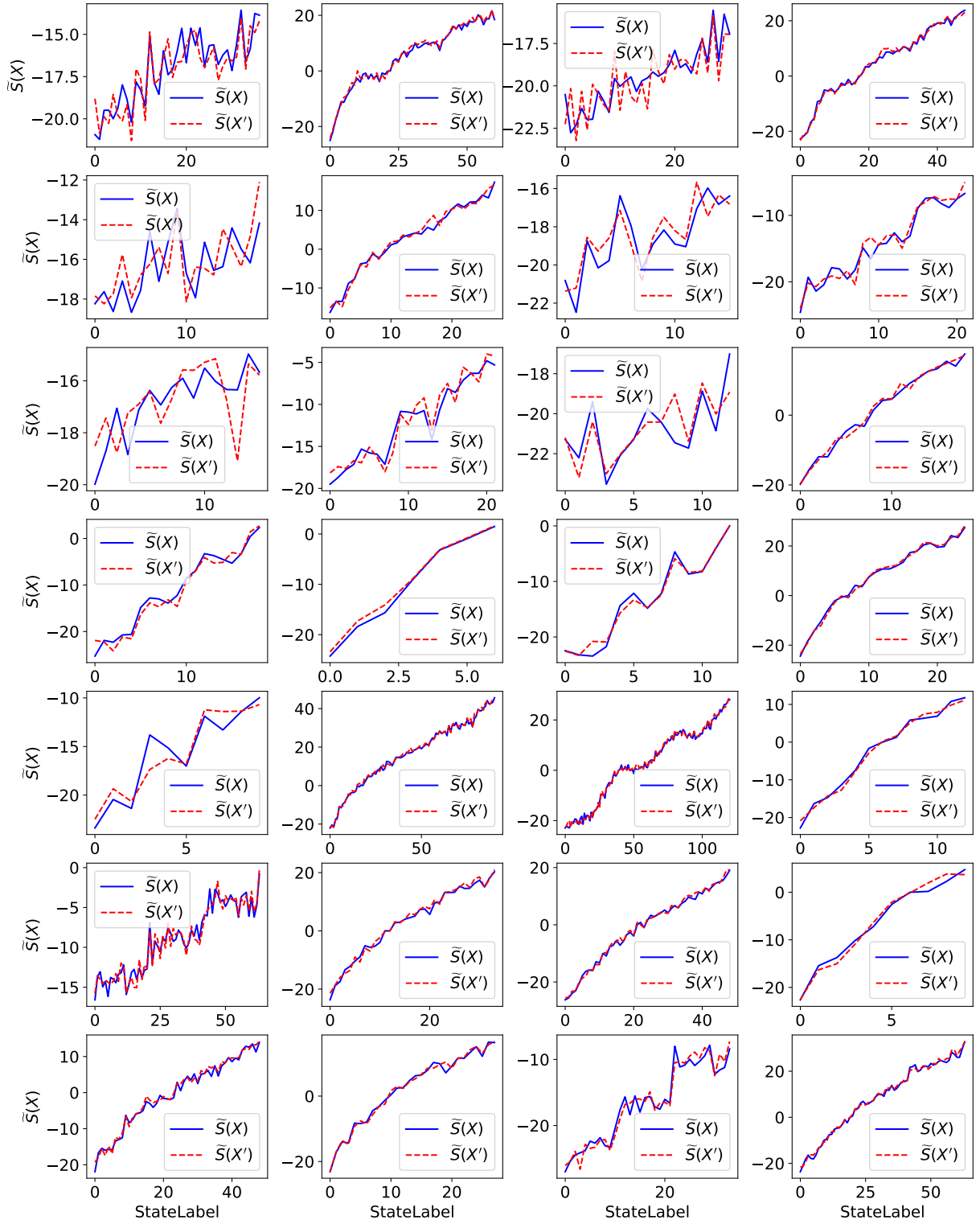


図 27: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, 時間反転を施した後, $\frac{\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

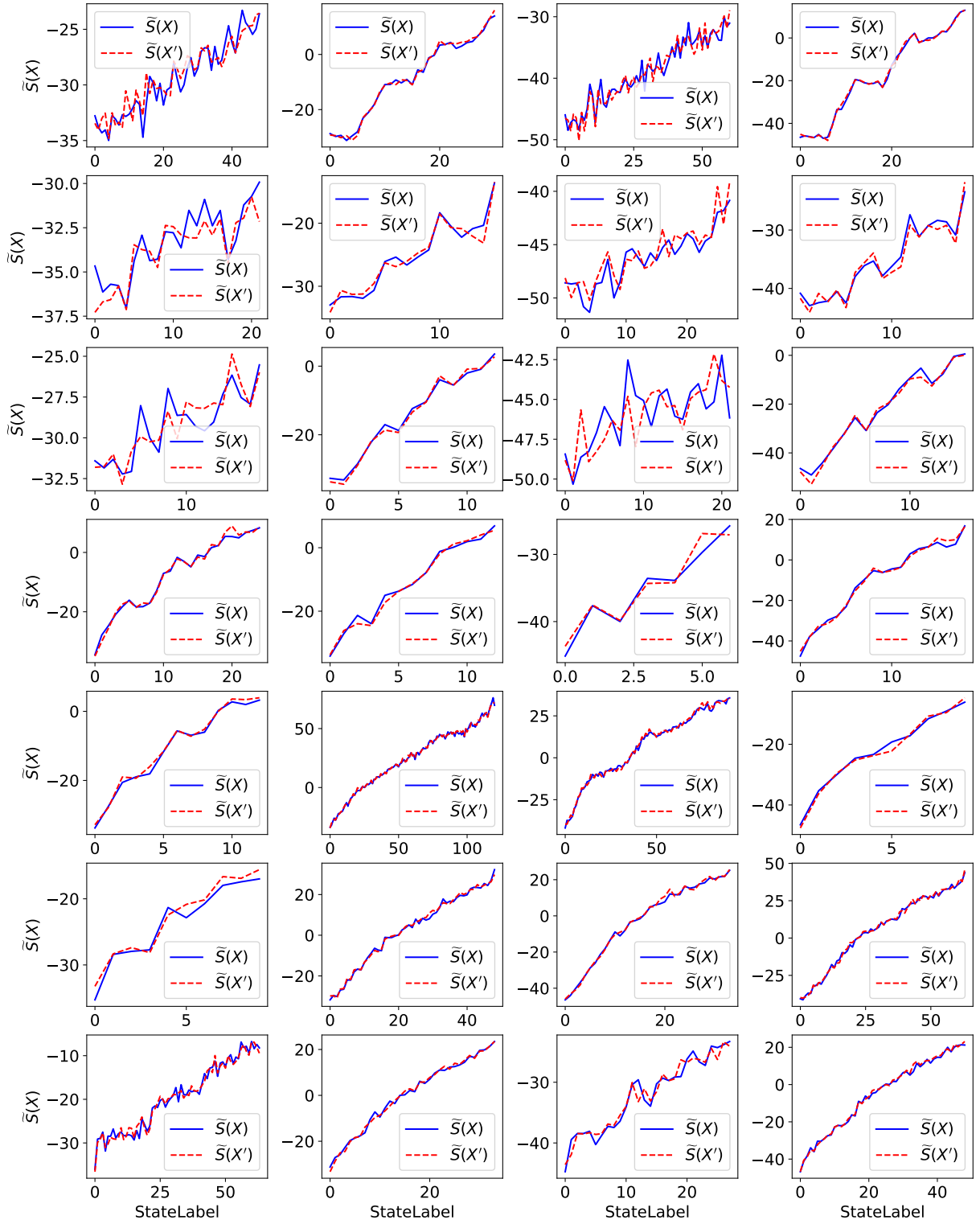


図 28: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, 時間反転を施した後, $\frac{\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

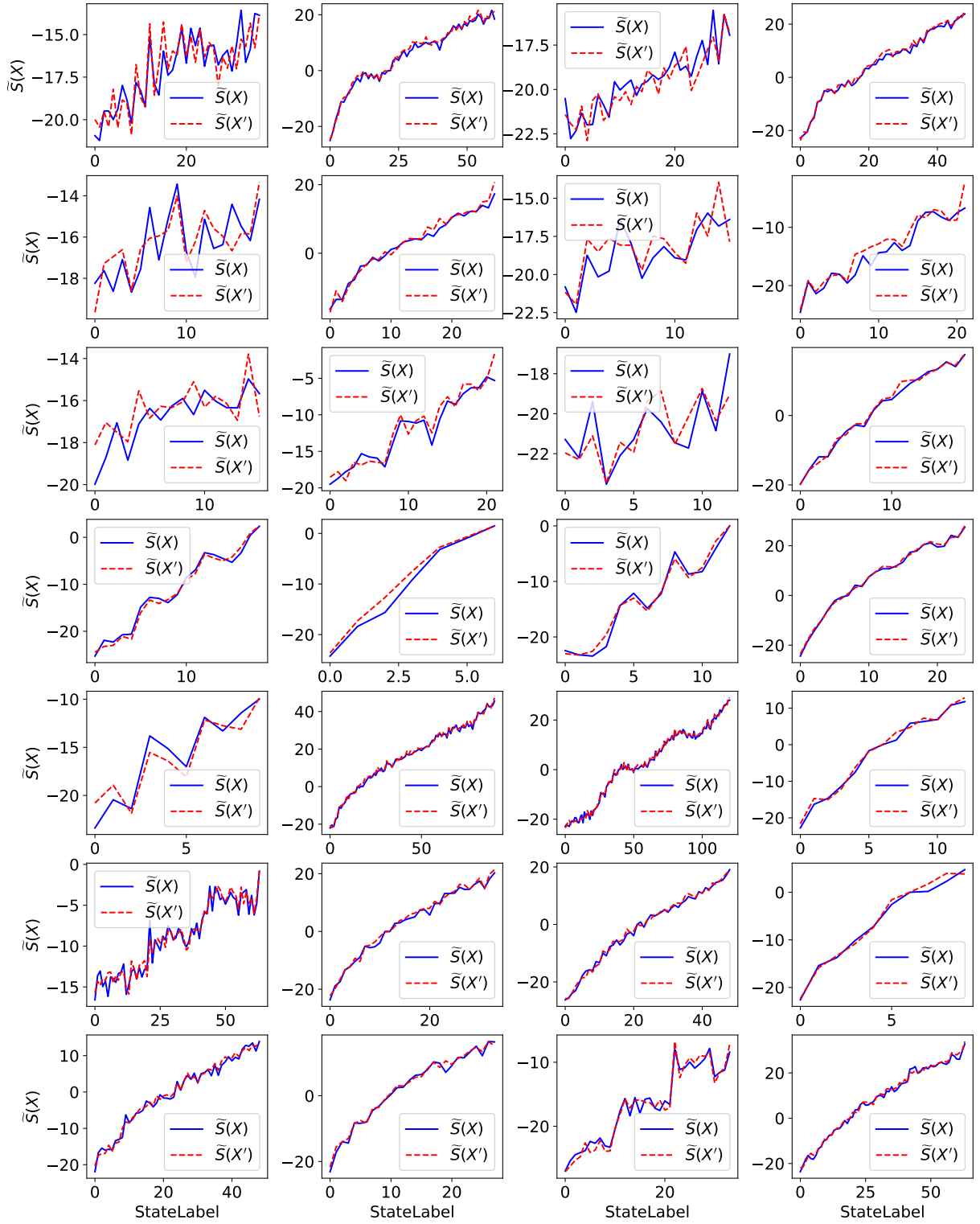


図 29: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, 時間反転を施した後, π 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

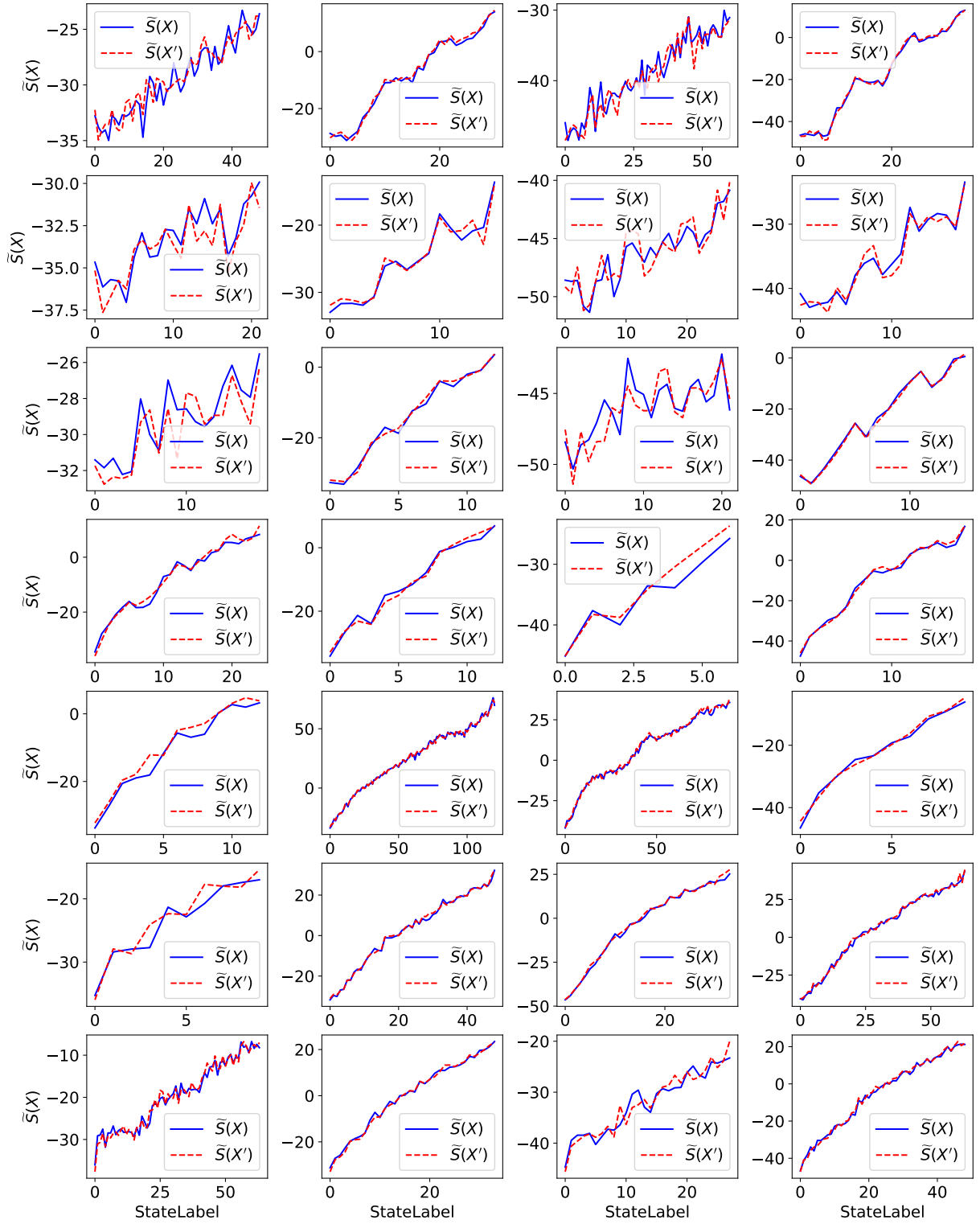


図 30: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, 時間反転を施した後, π 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

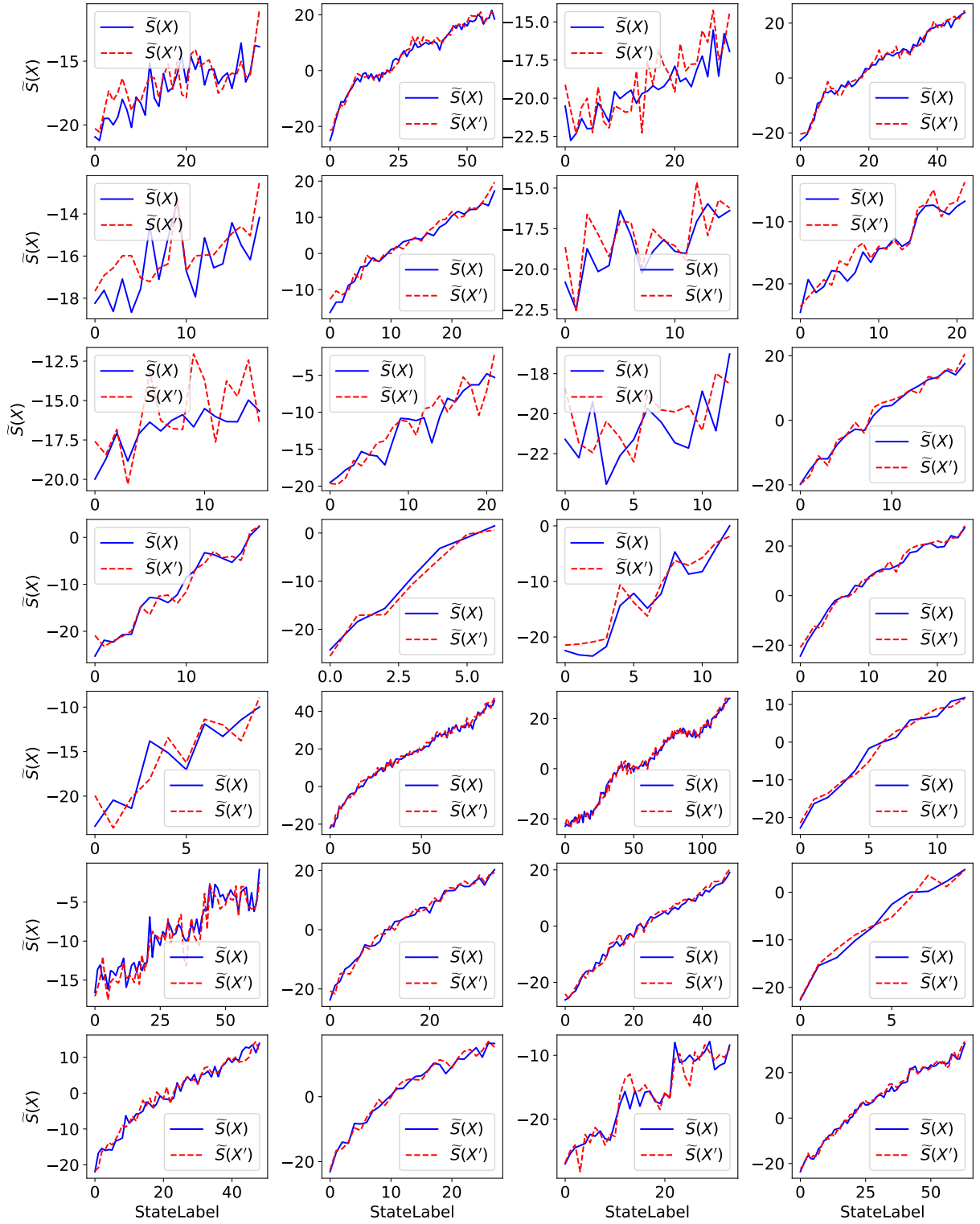


図 31: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, 時間反転を施した後, $\frac{3\pi}{2}$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

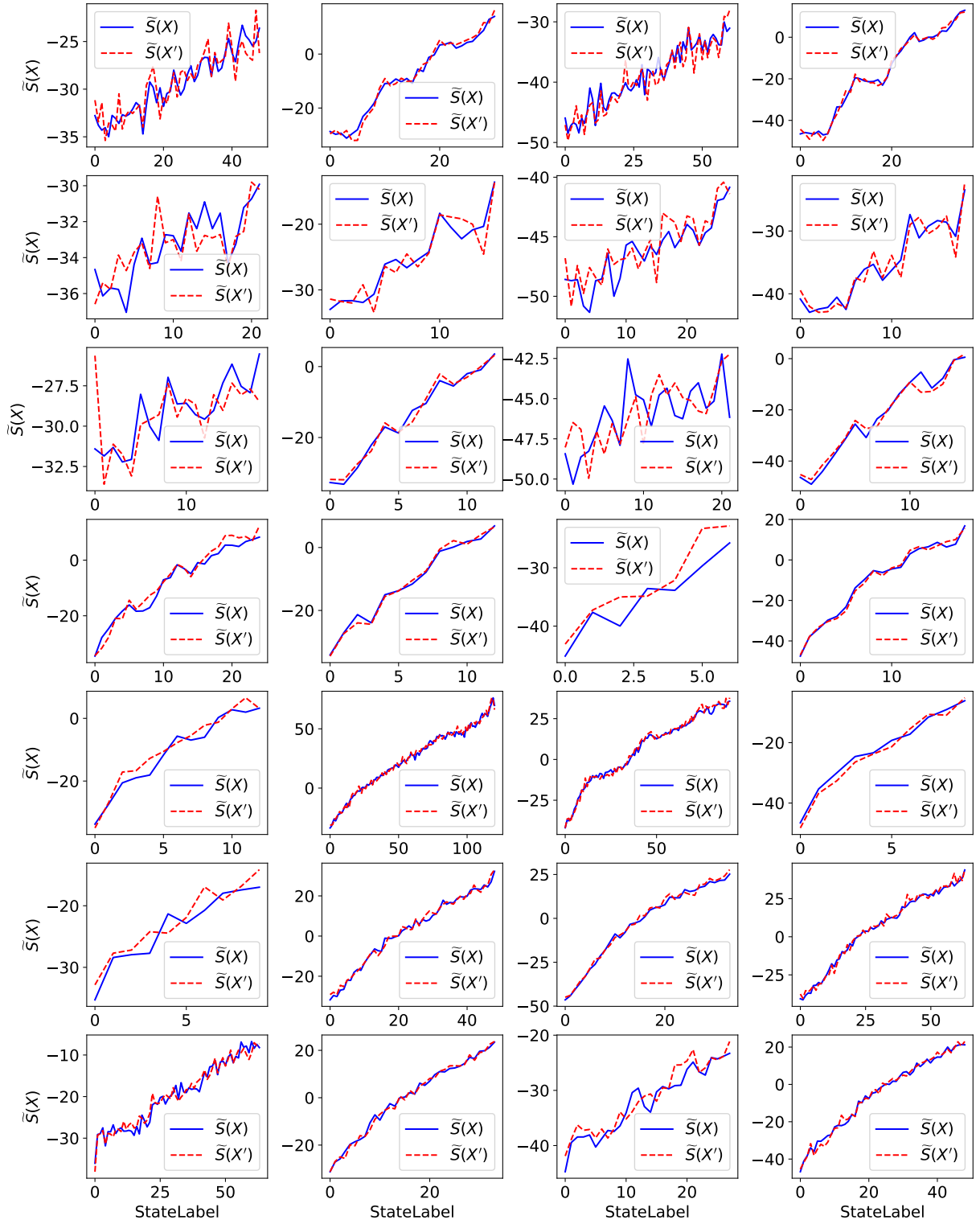


図 32: 公理 1 のすべてのシミュレーションの結果. 方法①の 15 種類の操作の 1 つである, 時間反転を施した後, $\frac{3}{2}\pi$ 回転を施した場合の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. すべてのケースにおいて $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ となっている.

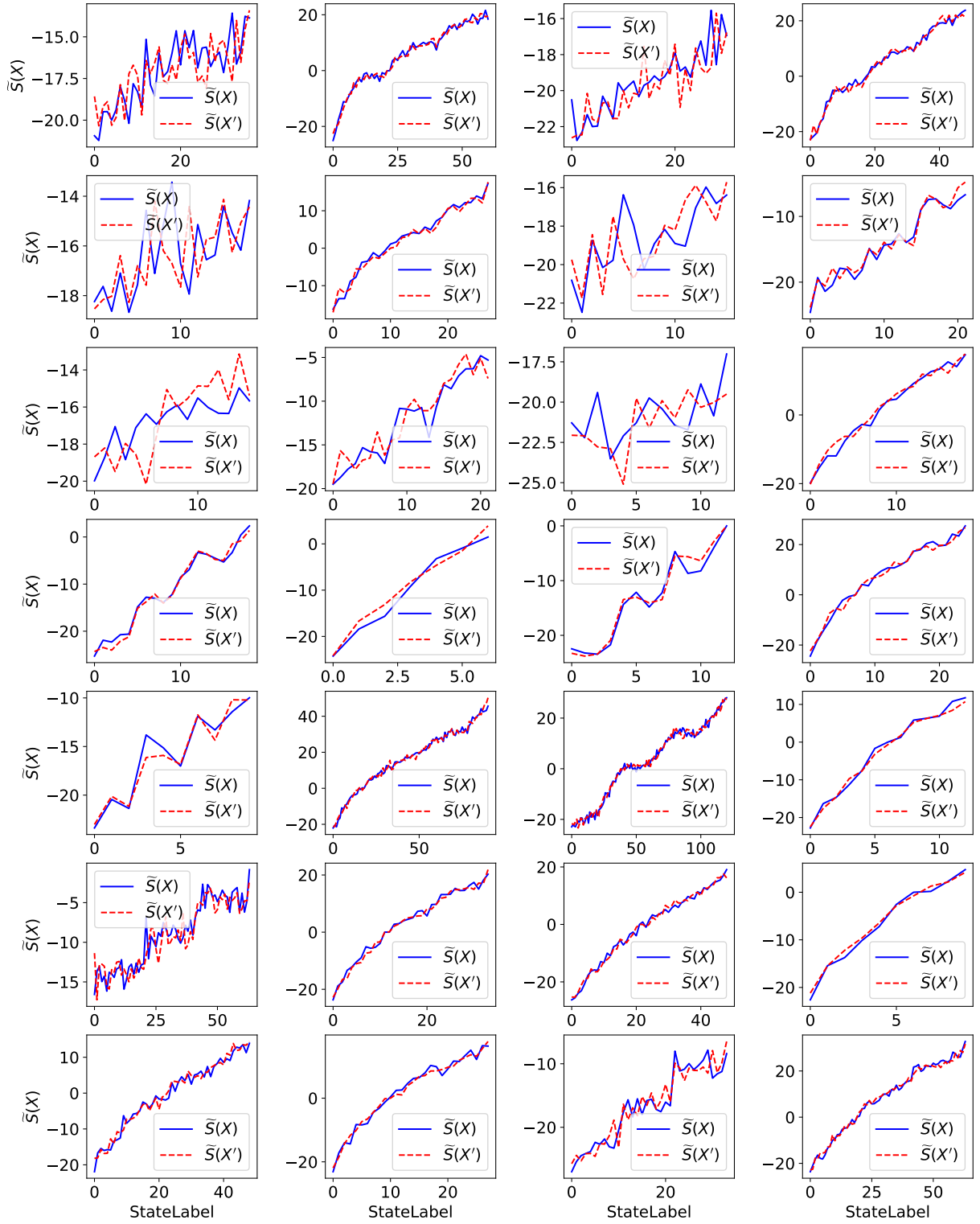


図 33: 公理 1 のすべてのシミュレーションでの, 方法②の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. X' は X とマクロな状態変数の値が同じになるようにしてシミュレーションをして得た状態である. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

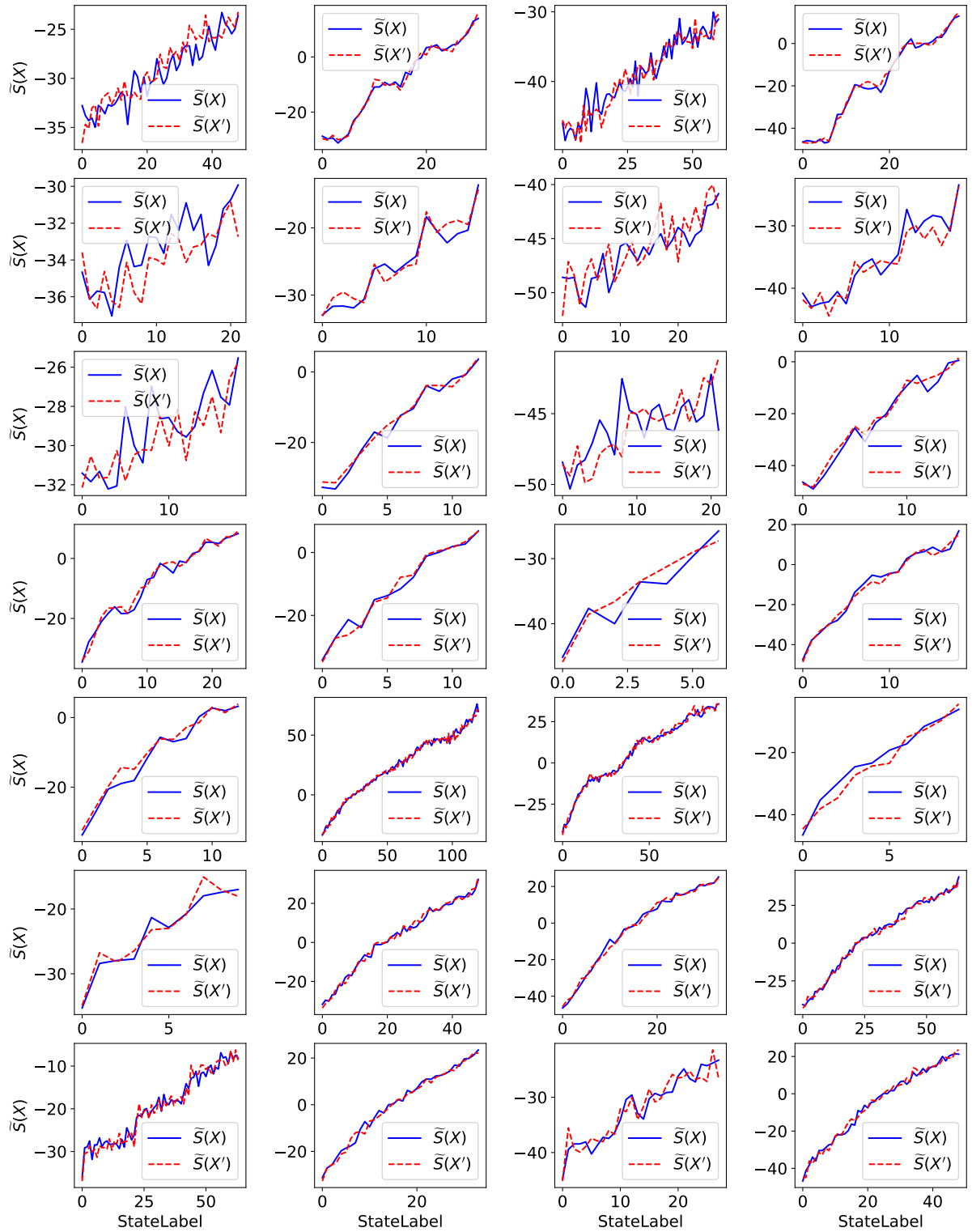


図 34: 公理 1 のすべてのシミュレーションでの, 方法②の結果. 横軸に StateLabel をとったときの, $\tilde{S}(X)$ (青実線) および $\tilde{S}(X')$ (赤破線) のプロット. X' は X とマクロな状態変数の値が同じになるようにしてシミュレーションをして得た状態である. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

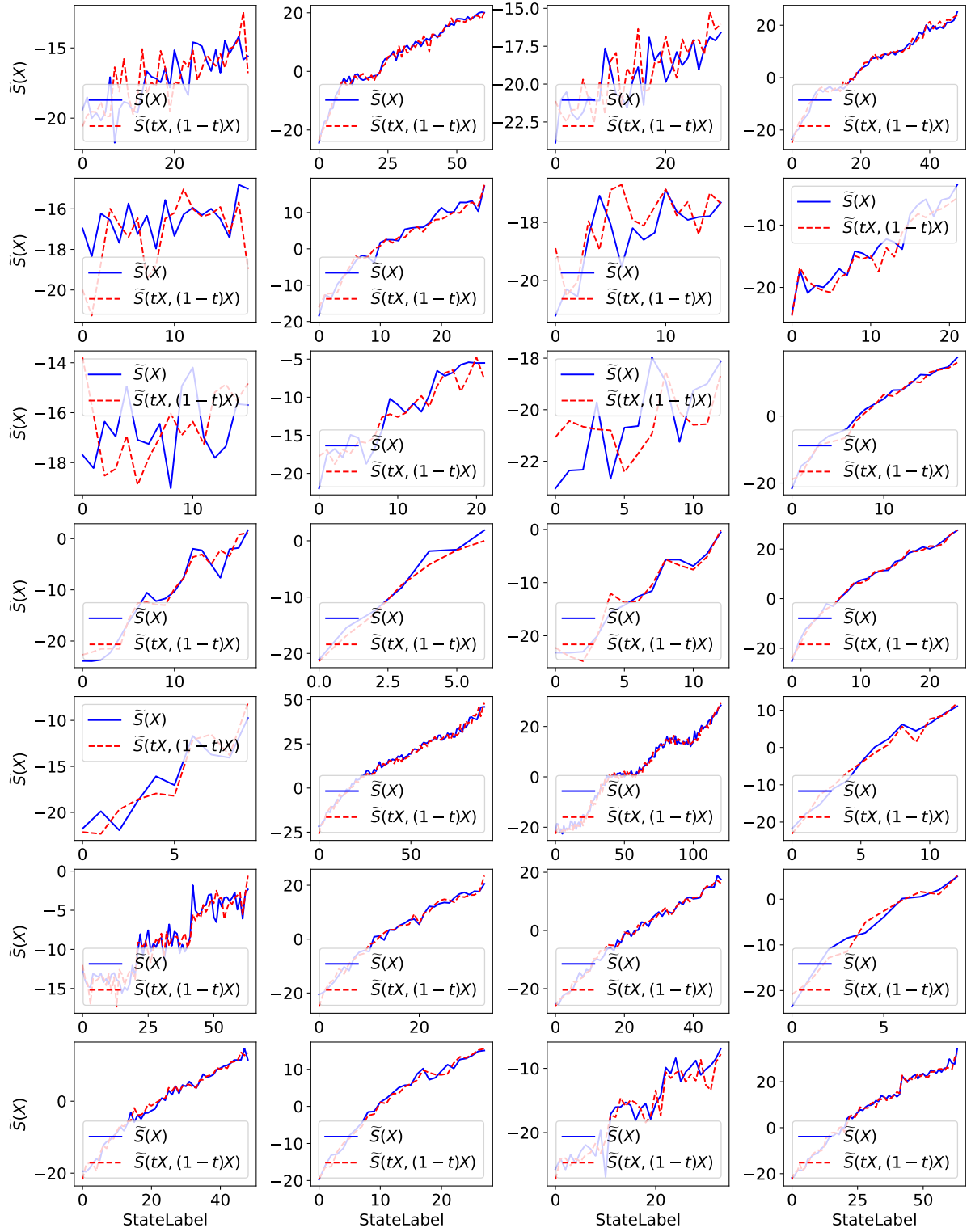


図 35: 公理 5 のすべてのシミュレーションの結果. 横軸は StateLabel で, 青実線が $\tilde{S}(X)$, 赤破線が $\tilde{S}(tX, (1-t)X)$ である. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}((1-t)X, tX)$ であることがわかる.

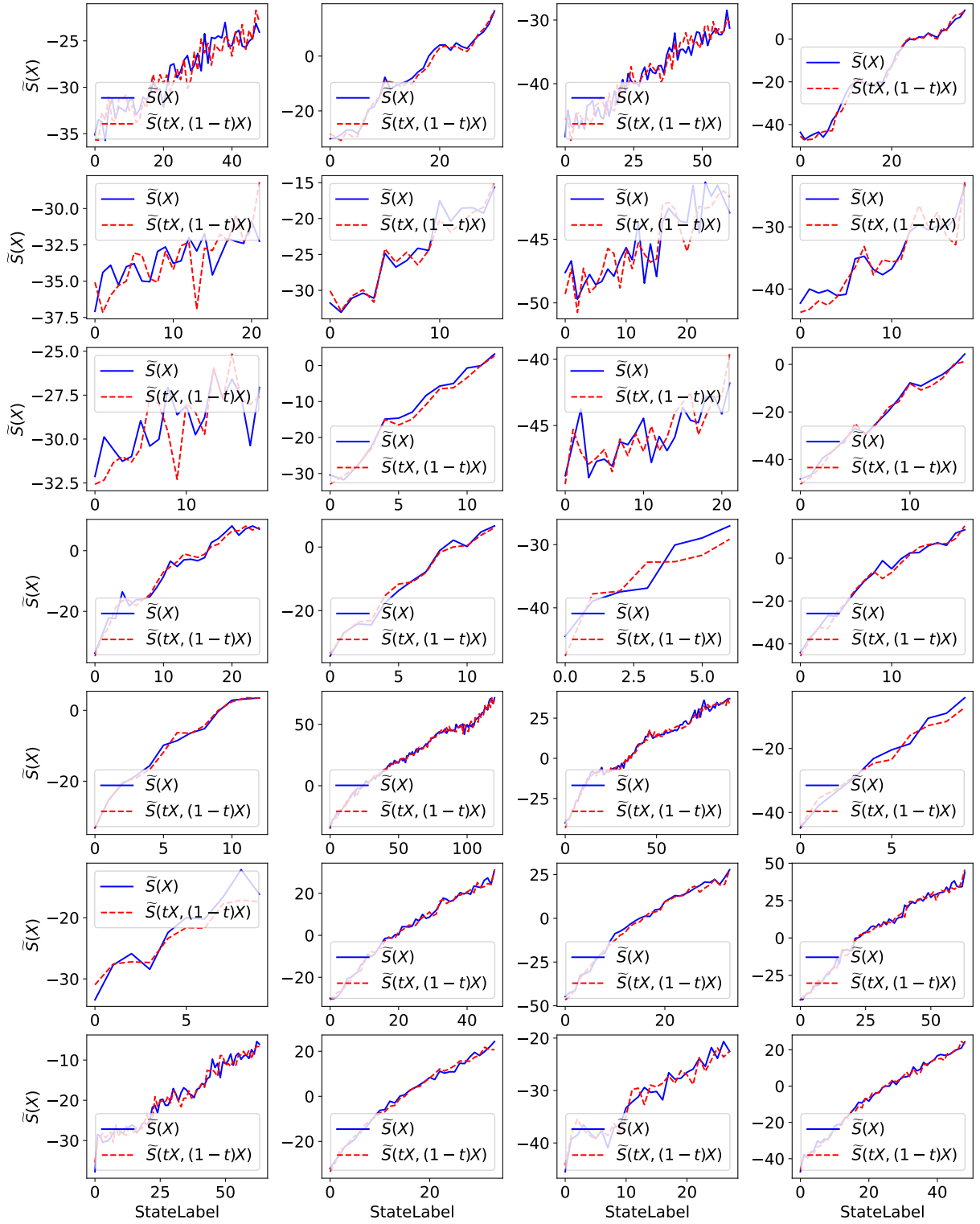


図 36: 公理 5 のすべてのシミュレーションの結果. 横軸は StateLabel で, 青実線が $\tilde{S}(X)$, 赤破線が $\tilde{S}(tX, (1-t)X)$ である. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}((1-t)X, tX)$ であることがわかる.